image
not
available

Die geometrischen Instrumente

der

gesammten praktischen Geometrie,

deren

Theorie, Beschreibung und Gebrauch.

Von

Dr. G. Chr. K. Hunäus,

Professor an der polytechnischen Schule zu Hannover.



Mit 290 Holzschnitten.

HANNOVER.

Carl Rümpler.

1864.

Die

geometrischen Instrumente

der

gesammten praktischen Geometrie,

deren

Theorie, Beschreibung und Gebrauch.

Von

Dr. G. Chr. K. Hunäus,
Professor an der polytechnischen Schule zu Hannover.

Mit 290 Holzschnitten.

HANNOVER.
Carl Rümpler.
1864.

Druck von August Grimpe in Hannover.

Vorrede.

Es ist eine längst anerkannte Thatsache, dafs von einer gründlichen Kenntnifs der Construction der in der praktischen Geometrie angewandten geometrischen Instrumente, von der Prüfung und Berichtigung ihrer einzelnen Theile und dem zweckmäfsigen Gebrauche derselben vorzugsweise die Zuverläfsigkeit der damit auszuführenden Beobachtungen und Mefsungen abhängt.

Jedes Lehrbuch der praktischen Geometrie enthält zwar von den anzuwendenden Instrumenten neben einer hinreichenden Theorie derselben, so weit eine solche überhaupt zuläfsig ist, auch eine Anweisung zum Erkennen und Berichtigen ihrer Fehler und zum Gebrauch derselben auf dem Felde. Es ist aber einleuchtend, dafs in einem solchen Lehrbuche, wenn es nicht auf die gröfste Vollständigkeit Ansprüche machen will, nicht allein in der Wahl der Instrumente selbst mehr oder minder eine Beschränkung Statt finden mufs, sondern auch die Darstellung ihrer Theorie, Fehlerberichtigung und Gebrauchsanweisung sich nur auf die, welche am meisten zur Anwendung kommen, beziehen kann. So vollständig auch z. B. das vortreffliche Lehrbuch vom Prof. Dr. Bauernfeind „Die Elemente der Vermefsungskunde, zweite vermehrte und verbefserte Auflage, München, 1862“, gewifse geometrische Instrumente des praktischen Geometers und des Hydrotechnikers behandelt, so werden doch mehrere der in der sogenannten höheren Geodäsie, so wie die zum Kartieren und Auftragen angewandten Werkzeuge ganz vermifst. Die meisten anderen Lehrbücher dagegen enthalten von geometrischen Instrumenten theils nach einem zu kleinen Mafsstabe angefertigte Zeichnungen, theils nur Skizzen, so dafs nicht immer der Anfänger oder Lernende eine gründliche Kenntnifs von ihnen sich verschaffen kann, während in noch anderen die gemachten Darstellungen kaum den Namen der Skizzen verdienen oder nur auf wörtliche Beschreibungen sich beschränken.

Aufserdem sind uns in neuerer Zeit in einzelnen anderen Werken vortreffliche Zeichnungen und Beschreibungen einzelner Classen von geometrischen Instrumenten geboten. So enthält die Beschreibung der Breitengradmefsung in den Ostseeprovinzen Rufslands etc. von F. G. W. Struve, Dorpat, 1831, von dem Verticalkreise, dem Universalinstrumente und dem astronomischen Theodolith von Reichenbach und Ertel geometrische Zeichnungen in verschiedenen Ansichten und Durchschnitten nebst ausführlicher Beschreibung und Gebrauchsanweisung. In der von Dr. W. C. Götze ausgeführten Uebersetzung des Abrifses der praktischen Astronomie, vorzüglich in ihrer Anwendung auf geographische Ortsbestimmung von Dr. A. Sawitsch, Hamburg, 1850, findet man ein tragbares Durchgangs- oder Passageninstrument, einen astronomischen Theodolith und ein kleines Universalinstrument von Ertel in München, so wie den Hadley'schen Spiegelsextanten. Aufser einigen rein astronomischen Apparaten enthält der erste Theil von Dr. G. A. Jahn's praktischer Astronomie u. s. w., Berlin, 1834, perspectivische Zeichnungen des Borda'schen Repetitionskreises von Troughton, des Reichenbach'schen Multiplicationskreises und des Repetitionstheodoliths, nebst Beschreibung und Gebrauchsanweisung.

In den betreffenden Artikeln der neuen Bearbeitung von Gehler's physikalischem Wörterbuch sind ebenfalls Beschreibungen und perspectivische Abbildungen einzelner geometrischer Instrumente, wie sie in den Wiener mechanischen Instituten angefertigt werden, gegeben, während in Dr. Rees Universal Dictionary of Arts etc., London, 1820, besonders die englischen Constructionen geometrischer Instrumente dargestellt sind. Die Stampfer-Starke'schen Nivellierinstrumente finden sich in der Broschüre Anleitung zum Nivellieren vom Prof. S. Stampfer, 5. Aufl., Wien, 1863, ausgeführt. Auch das Dingler'sche polytechnische Journal, so wie auch einige andere polytechnische Zeitschriften geben die Beschreibung und Abbildung einzelner Mefsinstrumente.

Das Magazin von den neuesten, gemeinnützigsten, gröfstentheils verbefserten und zweckmäfsiger eingerichteten mathematischen Instrumenten von F. W. Breithaupt in Cassel enthält mehrere der in der allgemein bekannten Breithaupt'schen Officin verfertigten geometrischen Instrumente meistens in geometrischer Darstellung, nebst Beschreibung und Gebrauchsanweisung.

Perspectivische Darstellungen aus der nämlichen mechanischen Werkstätte enthält von demselben Verfafser die Sammlung von

Zeichnungen mathematischer und physikalischer Instrumente vom Jahre 1861.

Vortreffliche geometrische Zeichnungen der wichtigsten geometrischen Instrumente findet man von den neueren Werken in K. Engelbreit's Instrumenten der niederen und höheren Geodäsie und der Hydrographie, Nürnberg, 1852.

Die astronomischen Apparate auf der berühmten Sternwarte zu Pulkowa aus den mechanischen und optischen Instituten von Ertel und Sohn, Merz, Utzschneider und Fraunhofer in München und Gebrüder Repsold in Hamburg sind besonders in der Description de l'Observatoire astronomique central de Poulkova par F. G. W. Struve, St. Petersbourg, 1845, dargestellt, von welchem Werke Dr. Ph. Carl's Principien der astronomischen Instrumentenkunde, Leipzig, 1863, in Bezug auf die einzelnen Theile der Instrumente gleichsam als ein Commentar betrachtet werden können.

Durch die Darstellung einer Theorie, Beschreibung und Gebrauchsanweisung aller derjenigen geometrischen Instrumente, wie sie nicht nur von dem ausübenden Geometer, Civil- und Militair-Ingenieur, Markscheider und Architekten, sondern auch von dem Landmefser (Trigonometer), dem reisenden Astronomen und Geographen und dem Nautiker angewandt werden, in einem einzigen Werke dürfte daher eine in der Literatur der Instrumentenkunde bisjetzt vorhandene Lücke ausgefüllt werden, wenn die vom Dr. E. F. Schneitler ausgesprochene Meinung über sein bei B. G. Teubner in Leipzig herausgekommenes Werk „Die Instrumente und Werkzeuge der höheren und niederen Mefskunde, so wie der geometrischen Zeichenkunst, ihre Theorie, Construction, Gebrauch und Prüfung", nicht getheilt wird. Darüber hat aber der Verfasser bereits in der Zeitschrift des Architekten- und Ingenieur-Vereins für das Königreich Hannover, Band V., Hannover, 1859, S. 352 u. f. sich genügend geäufsert und eine ähnliche Ansicht Herr Prof. Dr. Bauernfeind in der Vorrede zur ersten Auflage seiner oben angegebenen Vermefsungskunde unumwunden ausgesprochen.

In dem Vorhergehenden dürften daher die Principe (Motive) dargelegt sein, die den Verfafser bei der Abfafsung dieses Werkes leiteten. Es soll zunächst dem praktischen Geometer, dem Markscheider, dem Civil- und Militair-Ingenieur und dem Architekten das Mittel darbieten, sich bei den von ihm vorzunehmenden Aufnahmen nicht etwa nur eine empirische, sondern eine gründliche Kenntnifs

der anzuwendenden Mefsapparate zu verschaffen, insbesondere ihm Anleitung geben, dieselben einer genauen Prüfung und Berichtigung ihrer Fehler zu unterwerfen und richtig zu gebrauchen. Aber auch der Nautiker, der reisende Geograph und Astronom und der Trigonometer bei der Vermefsung gröfserer Länderstrecken dürfte als Lernender in gleichem Mafse über die von ihm angewandten Mefswerkzeuge in Bezug auf ihre Prüfung, Berichtigung und die Anweisung zum Gebrauch die nöthige Anleitung finden.

Gleichwohl glaubt der Verfafser die Meinung hegen zu dürfen, dafs auch von dem angehenden Lehrer der praktischen Geometrie bei seinen Vorträgen über die Instrumentenkunde das Werk mit Vortheil benutzt und dasselbe auch dem Lernenden als ein Handbuch zum Studium empfohlen werden kann. Ob der Verfafser das ihm vorschwebende Ziel erreicht hat, will er dem nachsichtsvollen Urtheile gründlicher Kenner der praktischen Geometrie und ihrer Praxis überlafsen, nur will er die Bemerkung sich noch erlauben, dafs er mit vieler Liebe und Fleifs die nachfolgenden Bogen bearbeitet hat. Zu der Darstellung der Zeichnungen, die, bis auf nur sehr wenige, welche anderen Sammlungen von Zeichnungen entlehnt wurden, der Verfafser genau nach einem bestimmten, obgleich bei verschiedenen Apparaten nach einem verschiedenen Mafsstabe ausführte, dienten ihm die Mefsapparate der so reichhaltigen mathematischen Sammlung der hiesigen polytechnischen Schule. Der Verfafser zog es vor, vorzugsweise diese Apparate aus dem Grunde zu benutzen, um nach den an denselben vorgenommenen Abmefsungen ein möglichst deutliches Bild von dem Instrumente zu liefern, was aus Zeichnungen, die gröfstentheils nur in Linien und ohne Licht und Schatten ausgeführt sind, nicht in der Art möglich ist. Der Verfafser glaubte um so mehr den genommenen Weg einschlagen zu können, da die dargestellten Apparate nicht aus einer einzigen mechanischen Werkstätte, sondern aus den Officinen sehr verschiedener Künstler hervorgegangen sind. Dafs englische und französische Constructionen nicht berücksichtigt wurden, dürfte nicht zum Vorwurfe gereichen, da anerkannter Mafsen die Constructionen deutscher Mechaniker vor denen der Engländer und Franzosen im Allgemeinen den Vorzug verdienen. Hiermit glaubt auch der Verfafser dem etwaigen Vorwurfe, dafs er nur die geometrischen Werkzeuge der polytechnischen Schule zu Hannover beschrieben habe, entgegen zu treten. Gleichwohl ist der Verfafser sich bewufst, dafs mancher der Apparate von anderen Künstlern in anderer und oft zweckmäfsigerer Construction dargestellt wird, obschon nicht geläugnet werden darf,

dafs durchschnittlich jeder Mechaniker die von ihm eingeführten Constructionen als die zweckmäfsigsten erkennt. Findet sich hin und wieder über die mehr oder mindere Zweckmäfsigkeit dieser oder jener Einrichtung die Meinung des Verfafsers ausgesprochen, so bemerkt er doch ausdrücklich, dafs von einer kritischen Beschreibung der Mefsapparate keine Rede sein soll.

Da eine gründliche Kenntnifs complicierter geometrischer Instrumente nur durch eine hinreichende Bekanntschaft ihrer einzelnen Theile erworben werden kann: so hat der Verfafser mit der Darstellung und Beschreibung der letzteren in dem ersten Abschnitt der ersten Abtheilung, welcher die Theorie, Beschreibung und den Gebrauch der Mefsapparate und der dazu nöthigen Hülfsapparate für Winkel- und Linienmefsungen enthält, begonnen. Er glaubt dabei nichts Wesentliches übergangen zu haben, will indessen doch noch bemerken, dafs er von den Verbindungsvorrichtungen der kleineren Mefswerkzeuge mit dem Stativ in dem ersten Abschnitte nur die gebräuchlichsten angegeben, andere Arten aber bei den später beschriebenen Mefsapparaten noch hinzugefügt hat.

In der in dem ersten Capitel des zweiten Abschnitts gegebenen Beschreibung der Winkelmefser mit fester Unterlage hat der Verfafser mit den gröfseren Mefsapparaten aus dem Grunde begonnen und ihnen allmälig die specielleren Zwecken dienenden Instrumente folgen lafsen, damit er in den Stand gesetzt wurde, die Prüfung und Berichtigung der Mefsapparate aus einem allgemeineren Gesichtspunkte darstellen zu können. Dafs er der eigentlichen Beschreibung der Höhen- und Azimuthalinstrumente einen Abrifs der sphärischen Astronomie vorangeschickt hat, wird ihm hoffentlich nicht zum Vorwurfe gereichen, da eine Kenntnifs derselben bei dem praktischen Gebrauch der genannten Instrumente unerläfslich ist. Auch dafs er diese Mefsapparate einer ausführlicheren Betrachtung unterworfen hat, als die winkelzeichnenden Werkzeuge, zu denen er auch die Boussole zählt, glaubt er dadurch zu rechtfertigen, dafs die ersteren allein der Bestimmung ihrer wahrscheinlichen Fehler, d. h. derjenigen Angabe der Fehlergrenze, die bei gehöriger Aufmerksamkeit während des Gebrauchs nicht überschritten wird, fähig sind. Aus demselben Grunde sind auch bei den Nivellierinstrumenten vorzugsweise nur die Libellenniveau's und von diesen wieder die mit Fernröhren, Statt der Diopteru, versehenen specieller berücksichtigt worden.

In dem zweiten Capitel, welches von den Reflexionswerkzeugen handelt, mufste auch der Steinheil'sche Prismenkreis, der selbst in Bauernfeind's Vermefsungskunde unerwähnt geblieben ist, in Bezug

auf Beschreibung und Gebrauch eine Stelle finden, wenngleich hinsichtlich seiner Theorie auf die werthvolle Bessel'sche Abhandlung in dem elften Bande der Schumacher'schen astronomischen Nachrichten verwiesen worden ist.

Auch in dem dritten Abschnitte, welcher die Beschreibung und den Gebrauch der Apparate für Linienmefsungen giebt, so wie in der zweiten Abtheilung, welche die zum Kartieren nöthigen Werkzeuge behandelt, glaubt der Verfafser nichts Wesentliches übergangen zu haben.

Noch mufs bemerkt werden, dafs der auf den Titeln für das erste und zweite Heft angekündigte Anhang über die wichtigsten Ausgleichungen der praktischen Geometrie nach der Methode der kleinsten Quadrate, ausgeführt an praktisch-geodätischen Aufgaben, nur deshalb nicht mit aufgenommen ist, um den Preis für das Werk nicht noch mehr zu erhöhen; dieser Anhang wird vom Verfafser bei der in Arbeit begriffenen zweiten Auflage seines Lehrbuchs der praktischen Geometrie an dem geeigneten Orte zur Darstellung gebracht werden.

Dafs die Verlagshandlung in der äufseren Ausstattung, sowohl in Bezug auf Material und Druck, als auch auf die Holzschnitte ein reges Interesse gezeigt hat, ist schon in den literarischen Anzeigen verschiedener technischer Zeitschriften vielfach bemerkt worden und läfst daher die Erwähnung von meiner Seite, dafs sie wohl als ein Muster der Ausstattung zu betrachten ist, als überflüfsig erscheinen.

Hannover, im November 1863.

G. Hunæus.

Inhalts-Verzeichniß.

Seite

Seite

Seite

Die verschiedenen Arten der geometrischen Instrumente und Hülfsapparate.

§. 1.

Bei weitem der gröfste Theil der geometrischen Instrumente wird von dem praktischen Geometer bei seinen Mefsungen und Beobachtungen theils auf dem Felde, oder, wie bei den markscheiderischen Arbeiten, in den Grubenbauen der Bergwerke, theils, wie beim Nautiker, auf der Oberfläche des Meeres angewandt. Zu dieser ersten Klasse von Apparaten gehören aber nicht nur die eigentlichen Mefsinstrumente, sondern auch alle diejenigen Apparate und Geräthe, welche bei den Beobachtungen und Mefsungen theils unentbehrlich sind, theils in einzelnen Fällen mit zur Anwendung kommen. Dahin sind zu rechnen die Hülfsapparate, welche gebraucht werden zum Signalisieren der Winkelpunkte bei Winkelmefsungen, die eingetheilten Latten beim Nivellieren und Distanzmefsen, die Winkelkreuze, Winkelspiegel u. s. w. beim Abstecken der Normalen, die s. g. künstlichen Horizonte bei gewifsen Höhenmefsungen, die Uhren bei den Zeitbestimmungen, die Hülfsfernröhre, Collimatoren u. s. w. zur Entdeckung und Wegschaffung gewifser Fehler an den Winkelmefsern u. s. w. Da aber überhaupt die Grundoperationen der praktischen Geometrie in Winkel- und Linienmefsungen bestehen, wenn zu den ersteren auch die Zeitbestimmungen gerechnet werden: so zerfallen die geometrischen Instrumente der erwähnten ersten Klasse in Mefs- und Hülfsapparate zum Mefsen der Winkel (und Zeit), und in eben solche zum Mefsen der Linien.

Die zweite Klasse der geometrischen Instrumente bilden dann diejenigen, welche theils zum Auftragen des Gemefsenen auf die Papierfläche, soweit diefs überhaupt zuläfsig ist, theils zum Berechnen oder zur Gröfsenbestimmung der Flächenräume, theils zum Verjüngen oder Vervielfältigen der entworfenen Karten erforderlich sind oder benutzt werden können.

§. 2.

Die eigentlichen Winkelmefser fordern indessen, theils nach der Art ihrer Construction, theils nach ihrem Gebrauche, beim Winkelmefsen noch eine weitere Unterscheidung und Classification.

Jede Bestimmung eines Horizontal- oder Verticalwinkels, auch jedes Nivellement, jede Zeitbestimmung mittelst eines auf eine bestimmte Höhe eingestellten Fernrohrs, verlangt bei der einen Constructionsart eine zeitweilige feste Aufstellung des Mefsinstrumentes auf einer sicheren festen Unterlage. Zu ihnen gehören aufser den auf den Sternwarten sich findenden und auf festen Steinpfeilern ruhenden Verticalkreisen, Passagen- oder Durchgangsinstrumenten, Meridiankreisen, Aequatorealen und Heliometern, die zu gröfseren geodätischen Arbeiten benutzten tragbaren Durchgangsinstrumente, Verticalkreise, Universalinstrumente und astronomischen Theodolithe. Ferner die bei kleineren geodätischen Mefsungen angewandten gewöhnlichen Theodolithe (nebst dem veralteten Astrolabium), Mefstische, Boussolen und die meisten Nivellierinstrumente, so wie auch als Hülfsapparate die vorhin erwähnten Hülfsfernröhre und Collimatoren, wohin endlich auch die eigentlichen Winkelkreuze gezählt werden könnten. Alle diese Werkzeuge können daher Winkelmefser und Hülfsapparate mit fester Unterlage genannt werden. Die andere Art bedarf ihrer Natur gemäfs keines festen Standes, sondern gestattet, nur momentan still gehalten, schon die Bestimmung der schiefliegenden und Vertical-Winkel durch die Coincidenz der Bilder der Objecte, welche durch Planspiegel oder Glasprismen, bei letzteren nach dem Gesetz der totalen Reflexion des Lichts, hervorgebracht und von dem Auge wahrgenommen werden. Die Mefsinstrumente dieser Klasse werden daher mit dem Namen der Spiegelwerkzeuge zweckmäfsig belegt. Zu ihnen gehören die Spiegelsextanten und Octanten, das katadioptrische Spiegellineal, die Reflexionskreise mit zwei Spiegeln oder mit einem Spiegel und einem Prisma, der Steinheilsche Prismenkreis u. a. Ihnen kann man auch für niedere Operationen beizählen das Fallon'sche Spiegellineal, den Winkelspiegel und das Prismenkreuz von Bauernfeind.

ERSTE ABTHEILUNG.

Die Theorie, Beschreibung und der Gebrauch der Mefsinstrumente und der dazu nöthigen Hülfsapparate für Winkel- und Linienmefsungen.

Erster Abschnitt.

Die Theorie, Beschreibung und der Gebrauch der einzelnen Theile der Winkelmefser mit fester Unterlage und ihrer Hülfsapparate.

I. Die allgemeinen Erfordernisse der Winkelmefser und die dazu gehörigen Vorrichtungen.

§. 3.

Alle geometrischen Werkzeuge sind aus einer mehr oder minder grofsen Anzahl von einzelnen Theilen und Stücken zusammengesetzt, welche vom Künstler einzeln angefertigt werden. Die meisten derselben sind von der Art, dafs sie mit anderen durch Befestigungsschrauben unabänderlich fest zu einem selbstständigen Ganzen verbunden werden. Dahin gehört die Verbindung des Dreifufses mit seiner Büchse, der Kreise und Alhidaden mit den Flanschen *) ihrer Achsen, des Fernrohrs mit der Flansche der Umdrehungsachse, der Kloben mit den Armen der Mikrometerwerke, der Arme zu den feinen Achsendrehungsvorrichtungen mit den Büchsen u. s. w. Andere, aber bei weitem die kleinste Zahl der vorhin erwähnten Theile bilden schon an und für sich Stücke der obigen Art, wohin z. B. die verschiedenen Arten der Schrauben, die Handloupen u. s. w. gehören.

§. 4.

Bestimmte, der im vorigen Paragraph erwähnten Stücke stehen aber in einer bestimmten Beziehung zu einander, so dafs sie entweder temporär mit einander verbunden, oder gegen einander bewegt werden sollen. Zu der temporären Verbindung dienen in den meisten Fällen Schrauben.

Die Bewegung bestimmter Stücke ist bedingt durch gewisse an die Mefswerkzeuge zu stellende Forderungen.

Erstens, dafs man bei Horizontal- und Verticalwinkelmefsungen bestimmte

---

*) Auch Flantsche und Flanche geschrieben. Wird das Wort von dem Englischen flanch oder dem Altdeutschen lancha abgeleitet, so möchte die Schreibart Flantsche am wenigsten richtig sein.

Theile des Meſsinstrumentes in eine horizontale oder verticale Lage muſs bringen können. Dieſs wird durch die Möglichkeit erreicht, die betreffenden Stücke nach zwei auf einander normal stehenden Richtungen um einen Punkt oder um eine Gerade zu drehen. Dieſs geschieht durch Schrauben und wird erkannt durch Libellen (Niveau's).

Zweitens muſs nach dem Begriffe der Winkelbestimmung, die Richtung der Schenkel des zu meſsenden Winkels auf dem Winkelmeſser nicht allein erkannt oder angegeben, sondern auch durch eine Achsendrehung um eine gerade Linie in diese Lage gebracht werden können. Bei den eigentlichen Winkelmeſsern ist die Richtung der Winkelschenkel durch eine auf einem drehbaren Lineale (Alhidade, Alhidadenregel, Absehenlineal) angegebene Linie (Indexlinie) bestimmt; bei den winkelzeichnenden Instrumenten wird die jedesmalige Lage der Winkelschenkel durch Construction einer Geraden an dem Lineale der Kippregel auf einer horizontalliegenden Ebene angegeben. Zur Bestimmung einer Geraden, als der Richtung nach bestimmten Punkten, dienen entweder zwei auf der Alhidade oder dem Lineale der Kippregel angebrachte Absehen, Dioptera, oder ein damit verbundenes und mit einem Fadenkreuze versehenes Fernrohr, dessen Achse mit der Indexlinie entweder zusammenfällt (mit ihr in der nämlichen Verticalebene liegt), oder mit derselben einen bestimmten unabänderlichen Winkel bildet, dann aber zugleich mit dem Mittelpunkte des eingetheilten Kreises in der nämlichen Ebene liegt.

§. 5.

Obgleich gewiſse Stücke der Meſsinstrumente eigentlich eine bestimmte unabänderliche Lage gegen andere besitzen und auch behalten sollten, so muſs man doch berücksichtigen, daſs dieselben theils durch den Gebrauch, theils durch den Transport, theils aber auch durch atmosphärische Einflüſse Aenderungen unterworfen sind und vom Künstler nicht immer fehlerfrei geliefert werden können. Deshalb macht man solche Stücke aus verschiedenen, von einander getrennten Theilen und wendet zu ihrer Verstellung und Befestigung ebenfalls Schrauben an, die man mit dem Namen der Correctionsschrauben belegt. Dahin gehören die Schrauben an den Röhrenlibellen, an dem einen Achsenlager der Stütze des Fernrohrs bei den Theodolithen, an dem einen Fernrohrträger bei einigen Nivellierinstrumenten u. s. w.

§. 6.

Die meisten der in den vorigen Paragraphen angedeuteten Bewegungen einzelner Theile der Meſsinstrumente werden demnach in drehenden Bewegungen um einen Punkt oder eine gerade Linie und in Achsenumdrehungen oder Kreisbewegungen bestehen. Die ersteren Bewegungen erfolgen nur durch die mittelst der Schrauben ausgeführte fortschreitende Bewegung der Schrauben-

spindel oder deren Mutter; bei ihnen kann daher unter Anwendung der Schraube von keiner groben Bewegung aus freier Hand die Rede sein. Da aber erst durch die Achsenumdrehung die eigentliche Winkelbestimmung vermittelt wird, so wird es noch darauf ankommen, nachdem mit der Hand die grobe Kreisbewegung ausgeführt ist, diese durch bestimmte Vorrichtungen und Schrauben aufzuheben oder zu hemmen, um dann schliefslich noch mittelst einer Schraube mit feinem Gewinde (uneigentlich Mikrometerschraube genannt) eine geringe Kreisbewegung des gehemmten Theiles gegen den anderen, insofern als festliegend angesehenen Theil des Winkelmefsers hervorzubringen. Die dazu dienenden Einrichtungen nennt man wohl die Mikrometerwerke zur Achsenumdrehung.

§. 7.

Die Achsenumdrehungen sollen selbstverständlich immer um eine Gerade als Achse erfolgen, die gegen den Horizont eine bestimmte Lage hat. Es ist aber einleuchtend, dafs in der Wirklichkeit diese Bewegungen nur dadurch ausgeführt werden können, dafs möglichst genau construirte normale Cylinder oder Kegel (Zapfen, Achsen), mit ihren Mantelflächen sich in anderen im Allgemeinen ebenso geformten krummen Flächen (Büchsen, Achsenlagern) herumdrehen und dafs die Bewegungen nur dann sicher und ohne Schwankungen auszuführen sein werden, wenn die genannten mathematischen Körper in Dimensionen ausgeführt sind, welche der Art und Gröfse des Mefswerkzeugs vollkommen entsprechen. Um die Reibung der Achsen in ihren Büchsen möglichst zu vermindern, giebt man denselben solche Formen, dafs sie nur an einzelnen Stellen, gewöhnlich an den entgegengesetzten Enden und, um möglichst gleiche Abnutzung zu erzielen, in gleich grofsen Flächen sich berühren, die dazwischen liegenden aber gar nicht zur Berührung kommen. Aus demselben Grunde schleift man die Achsenlager der cylindrischen Drehzapfen des Fernrohrs so aus, dafs jeder der Zapfen nur in zwei (körperlichen) Punkten in der Unterlage aufliegt.

§. 8.

Bei den meisten Winkelmefsern verlangt man die Gröfse des zu bestimmenden Winkels im Gradmafs durch Zahlen angeben zu können. Zu diesem Zwecke haben dieselben einen nach Graden und Gradtheilen eingetheilten Kreisrand, der fast immer, um die Theilung möglichst rein und deutlich darstellen zu können, aus einem eingelegten Silberstreifen besteht und deshalb der Limbus genannt wird. Da aber die Theilstriche immer einen deutlich bemerkbaren Abstand von einander haben müfsen, so wird schon durch den kleineren oder gröfseren Durchmefser der Kreise der unmittelbaren Eintheilung von selbst eine bestimmte, nicht überschreitbare Gränze gesetzt, so dafs z. B. ein 8zölliger Kreis höchstens in Sechstelgrade einzutheilen ist. Zur Bestimmung und Ablesung noch kleinerer Theile dienen dann zwei verschiedene Vorrichtungen. Die eine, gewöhnlich an-

gewandte, besteht in einem zweiten eingetheilten Kreisbogen, der neben dem Limbus sich verschieben läfst; sie wird der Vernier oder Nonius genannt. (Vgl. §. 62.) Die zweite, vorzugsweise bei gröfseren Winkelmefsern angewandte, besteht in einem zusammengesetzten Mikroskope in Verbindung mit einer Mikrometerschraube, durch deren Umdrehung einem Fadenkreuze eine Bewegung längs der Limbuseintheilung ertheilt wird, und deren Gröfse im Bogenmafs durch den eingetheilten Kopf der Schraube sich bestimmen läfst. (Vgl. §. 65.).

§. 9.

Nur in einzelnen Fällen reicht ein einziger Vernier zur Bestimmung eines Horizontal- oder Verticalwinkels aus. Bei genaueren Winkelbestimmungen wendet man aber immer deren zwei oder vier an, welche bei den Horizontalkreisen diametral gegenüber an der Alhidade sich befinden. Bei den Breithauptschen Winkelmefsern bilden die Verniere für sich bestehende Platten, die mit der Alhidade mittelst Schrauben vereinigt werden, eine Einrichtung, die freilich den Vortheil gewährt, dafs man die Indexstriche durch Verstellung der Platten leichter mit den Quadranten des Kreises in Uebereinstimmung bringen kann, dagegen aber auch nie das Unwandelbare an sich tragen, welches die unmittelbar mit der Verniertheilung versehenen Alhidadenkreise besitzen. In beiden Fällen liegen die Eintheilungen des Limbus und der Verniere bis auf eine sehr geringe Abweichung, um welche die letzteren tiefer liegen, in einerlei Ebene, oder auf einer sehr wenig geneigten konischen Fläche. Letztere Einrichtung giebt Breithaupt seinen Kreisen, die insofern einen Vortheil gewährt, als die Ablesung bequemer gemacht wird.

Bei den Verticalkreisen bringt man die Verniere häufig nur auf Kreisrandstücken an, die in Metallrahmen entweder unabänderlich befestigt oder zwischen Schraubenspitzen (§. 13. 5.) dreh- und etwas verschiebbar sind. (Fliegende Nonien oder Verniere.) Der keilförmig zulaufende Rand legt sich auf die Eintheilung des Limbus. Letzterer wird meistens an der Umdrehungsachse, der Rahmen der Verniere aber an der einen Stütze des Fernrohrs befestigt. Von andern Einrichtungen wird später die Rede sein.

§. 10.

Die Ränder der Limbus- und Alhidadenkreise sind mit dem mittleren cylindrischen oder konischen Theile, an dem auch die Befestigung ihrer Achsen sich findet, entweder durch Speichen oder ganze Kreisstücke verbunden. Durch erstere Einrichtung wird den Apparaten ein gefälligeres Ansehen und ein etwas geringeres Gewicht ertheilt, nur erfordert sie mehr Sorgfalt und Arbeit in der Ausführung. Durch die letztere kann man zwar den Limbus vor den gröberen Beschädigungen schützen, also die Eintheilung mehr conservieren, aber dessenungeachtet den feinen Staub nicht ganz abhalten. Weil aber wegen der Abnahme

der Rahmen, welche die zum Erkennen der Eintheilung nöthigen Gläser tragen, die Reinigung sehr umständlich und deshalb häufig unterlassen wird: so wirkt alsdann der zwischen dem Limbus — und Vernierrande sich festgesetzte Staub um so nachtheiliger. Man trifft die letztgenannte Einrichtung durchweg bei den Breithauptschen Winkelmeſsern an. (Vgl. Fig. 61.)

§. 11.

Bei der Einrichtung der mikroskopischen Ablesung sind die Mikroskope nebst Mikrometerschraube in Faſsungen befestigt, welche diametral einander gegenüber an den Enden eigener starker Arme, dem Mikroskopenträger, sich finden. Bei den einachsigen oder nicht repetierenden Winkelmeſsern hat der Mikroskopenträger dann meistens eine feste Stellung, während der Limbuskreis die rotierende Bewegung gestattet.

§. 12.

Es ist schon im §. 2. erwähnt, dass den meisten Winkelmeſsern in einer zum Beobachten bequemen Höhe eine sichere, feste Unterlage gegeben werden muſs. In den gewöhnlichen Fällen, wobei zugleich ein bequemer Transport des Meſsapparates erzielt werden soll, dient dazu das Stativ mit seinem Befestigungsapparat. (Vgl. §. 68.)

II. Die Schraube.

§. 13.

Von den beiden Hauptarten derselben bedient man sich bei den geometrischen Instrumenten ausschlieſslich nur der Schraube mit scharfem, dreieckigem Gewinde. Was die Anwendung der Schraube zu verschiedenen Zwecken anlangt, so dient sie: 1) Zur dauernden Vereinigung gewiſser Bestandtheile zu einem Stück, also als Verbindungs-, Befestigungs-, Zugschraube. (§. 3.) In diesem Falle wird sie meistens als versenkte Schraube angewandt, die deshalb entweder einen cylindrischen oder konischen oder kugelsegmentförmigen Kopf mit einem Einschnitte hat und mittelst eines Schraubenziehers bewegt wird. In den nachfolgenden Durchschnittszeichnungen sind zur beſsern Erkenntniſs, die Verbindungsschrauben nicht im Durchschnitt, sondern ganz gesehen dargestellt. In einzelnen Fällen sollen solche Verbindungsschrauben auch dazu dienen, die verbundenen Theile von einander zu trennen, um an dem einen oder andern desselben gewisse Veränderungen vornehmen zu können. Dieſs verlangt man z. B. bei den Schrauben, welche die Füſse der Röhrenlibelle mit ihrer Fassung, welche die Kloben an den Klemmen mit dem zugehörigen Arme u. s. w. verbinden. Hierher kann man auch die s. g. Knopfschrauben rechnen, welche einzelne unabhängige Stücke eines Instrumentes für eine Beobachtung oder Meſsung mit einander

vereinigen sollen. Da diese Verbindung unmittelbar mit der Hand bewerkstelligt werden soll, so ist die Schraube auch mit einem der hervorzubringenden Wirkung entsprechenden Kopfe versehen und deshalb entweder gerändert oder mit lappenartigen Verlängerungen (Flügelschraube) versehen. Sie wird u. a. bei der Verbindung der Meſstischplatte mit dem Untersatze des Meſsapparats u. s. w. angewandt.

2. Die Schraube soll eine Aufhebung (Hemmung) einer mit der Hand ausgeführten groben Bewegung bezwecken; in diesem Falle deshalb Klemm-, Brems-, Druck- und Preſsschraube genannt. In den meisten Fällen werden diese Schrauben unmittelbar mit der Hand bewegt, weshalb auch ihr Kopf entweder gerändert oder bleibend mit Hebeln versehen ist, oder eine Flügelschraube darstellt. In anderen Fällen hat der Kopf eine Cylinderform und enthält entweder auf der Mantelfläche kleine Löcher, die einen Stift zum Umdrehen aufnehmen, oder wie bei den Verbindungsschrauben einen Einschnitt. Auch ist der Kopf wohl prismatisch, in welchem Falle die Umdrehung der Schraube mittelst eines aufgesetzten Schlüſsels bewirkt wird. Letztere Form wählt man auch nicht unzweckmäſsig bei Schrauben, die zur Correction gewisser Instrumententheile dienen sollen.

3. Die Schraube soll nur eine geringe, aber möglichst gleichförmige (drehende oder fortgleitende) Bewegung des einen Theils eines Instruments gegen einen anderen hervorbringen, weshalb sie in den meisten Fällen den Namen Stellschraube führt. Zu ihnen gehören insbesondere die Fuſs- oder Stellschrauben, die zur Horizontalstellung angewandt werden; ferner die bei den feinen Kreisbewegungen angewandten Schrauben mit feinen Windungen, daher gewöhnlich, obgleich unzweckmäſsig mit dem Namen der Mikrometerschrauben belegt, sowie auch einige andere.

4. In einzelnen Fällen soll die Schraube auch zu mikrometrischen Meſsungen von Linien, gewöhnlich im Winkelmaſs dargestellt, dienen. Dann ist sie eigentliche Mikrometerschraube (§. 8.) (Schraubenmikrometer). Ihre Einrichtung wird später ausführlich dargestellt werden. (Vgl. §. 65.)

5. Endlich werden die Schrauben zuweilen auf die im §. 9. erwähnte Art als Umdrehungsachsen bestimmter Instrumententheile benutzt, indem ihre Enden in Spitzen auslaufen, die, einander zugekehrt, in den Rand des zu drehenden Stücks greifen und nun zugleich eine Verstellung des letzteren gestatten. (Drehung zwischen Schraubenspitzen.)

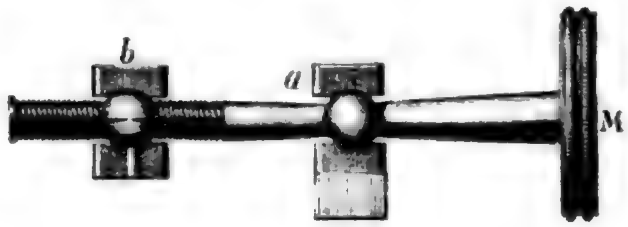
§. 14.

Um die im vorigen Paragraph angedeuteten Zwecke zu erreichen, sind bei der Anwendung der Schraube in Bezug auf die Bewegung der Schraubenspindel und Mutter, folgende Verschiedenheiten zu unterscheiden:

1. Die Schraubenspindel wird nur um ihre Achse gedreht, gestattet also keine fortschreitende Bewegung, während die Mutter beweglich ist.

Wird dann bei einer rechtsgängigen Schraube die Spindel von Links nach Rechts gedreht (vom Mittelpunkte des Kopfes aus betrachtet), so nennt man dies das Anziehen der Schraube, die Drehung von Rechts nach Links aber das Lösen oder Lüften derselben. Bei der obigen Einrichtung wird beim Anziehen der Schraube, wie auch die Lage der Schraube und ihres Kopfes sein mag, die Mutter nach dem Kopfe zu sich bewegen. Man bedient sich derselben durchweg bei den Stell- oder Fufsschrauben (§. 13. 3.) des Dreifufses der Horizontalstellungsvorrichtung. Je nachdem nun hierbei Kopf und Stützpunkt (Spitze) der Schraube, wie es meistens der Fall ist, auf verschiedenen Seiten oder derselben Seite der Mutter liegen, wird die Bewegung der letzteren in Bezug auf die Horizontalebene eine entgegengesetzte sein. (Vgl. Figg. 53 u. 54.) Ferner findet sich die erwähnte Einrichtung bei den s. g. Mikrometerschrauben (§. 13. 3.) der feinen Achsendrehungen mit der Klemme (Fig. 1.) oder der Feder, sobald nur in dem ersteren Falle die den Stützpunkt der Mikrometerschraube bildende Kugel in dem festen Lager *a*, die Mutter dagegen in dem beweglichen Lager *b* liegt, in dem letzteren Falle aber die Schraube einen festen Stützpunkt besitzt; ferner bei den Schraubenmikrometern (§. 13. 4.) und als Klemmschraube, um die grobe Achsendrehung des Limbus- oder Alhidadenkreises zu hemmen. Der Stützpunkt wird der Klemmschraube durch einen vor den Schraubengängen angebrachten cylindrischen Ansatz verschafft, der sich gegen einen festliegenden Theil legt. (Vgl. Figg. 70. 71.). Ferner bei einigen Correctionsvorrichtungen der Röhrenlibelle, wenn die Glasröhre mit ihrer Fafsung zugleich eine Verstellung erleiden soll (vgl. Fig. 12.), so wie bei einigen anderen Instrumententheilen.

Fig. 1.



Zu der in Rede stehenden Einrichtung gehört auch die Schraube ohne Ende, deren Spindel nur wenige aber meistens spitzwinklichtere Schraubengänge enthält. Die Mutter wird dabei durch eine Scheibe vertreten, in deren Rande die Gänge der Mutter eingeschnitten sind. Man bedient sich ihrer bei der feinen Achsendrehung, aber nur bei kleineren Mefsapparaten. Es wird diese Construction weiter unten näher beschrieben werden. (Vgl. Figg. 79. 80.)

§. 15.

2. Der Schraubenspindel kann durch Drehung eine fortschreitende Bewegung ertheilt werden, die Mutter liegt fest. Diese Einrichtung unterscheidet sich dadurch wesentlich von der im §. 14., dafs der dortige Stützpunkt der Schraube hier durch ein zu bewegendes Stück vertreten wird, die Mutter aber durch festliegende Theile des Instrumentes eine unabänderliche Lage besitzt. Beim Anziehen der Schraube wird daher das bewegliche Stück sich von

der Mutter entfernen, oder mit dem Fortschreiten der Schraube zugleich fortschreiten. Diese Construction dient meistens als Druck- oder Bremsschraube (§. 13. 2.) bei den Hemmungen der Achsen, indem durch ihre Anziehung ein Ring oder eine Platte gegen die festzustellende Achse getrieben wird. Sie findet aber auch ihre Anwendung bei den Stellschrauben der Nufs, die gegen den würfelförmigen Fortsatz des Zapfens treten (vgl. Fig. 55.); bei der Verstellung des einen Fernrohrachsenlagers (Fig. 35.), sowie des Klobens der Klemmen; ferner dient sie auch als gewöhnliche Correctionsvorrichtung bei den Röhrenlibellen (Fig. 5.), und endlich auch dann bei den Mikrometerschrauben, sobald in dem festen Lager die Mutter, in dem beweglichen aber die Kugel angebracht ist. Die durch das Anziehen der Schraube bewirkte Fortschiebung derselben wird dann auch das bewegliche Lager mit verschieben, aber in einer Richtung, die der im vorigen Paragraph erwähnten entgegengesetzt ist. Man macht deshalb von dieser Einrichtung auch nur dann Gebrauch, wenn es die Bequemlichkeit fordert.

§. 16.

Die beiden erwähnten Einrichtungen der Mikrometerschraube wendet man fast allein nur bei den Kreisbewegungen an. Dann mufs aber, wenn nur die im §. 14. angedeutete Construction berücksichtigt wird, zur Vermeidung einer sonst eintretenden Spannung, indem durch die drehende Bewegung des beweglichen Lagers, der Schraubenmutter auch eine solche mitgetheilt wird, letztere eine gelenkartige Verschiebung in ihrer Klemme gestatten. Zu diesem Zwecke ist die kugelförmig abgedrehte Mutter nicht nur an der einen Seite in der Richtung der Schraube aufgeschnitten, sondern auch an ihr ein Stift (Gelenkstift) befestigt, der in ein Loch der einen Lagerplatte der Mutter eingreift und die Drehung der letzteren möglich macht. (Vgl. Fig. 2.)

§. 17.

3. Die Differenzialschraube. Während bei der Einrichtung 1. (§. 14.) die bewegliche Mutter von der sich drehenden, aber nicht fortschreitenden Schraubenspindel eine Fortschiebung nach dem Kopfe der Schraube zu erlitt, bei der Einrichtung 2. (§. 15.) aber durch die Umdrehung der Spindel in der festliegenden Mutter eine Fortschiebung der Spindel nach entgegengesetzter Richtung erfolgte: können auch beide Einrichtungen mit einander verbunden werden, indem man die Spindel mit 2 Gewinden von verschiedener Höhe und 2 kugelförmigen Muttern mit Gelenkstiften anwendet. Die eine derselben, *a* in Fig. 2. liegt dann in der zugehörigen Klemme fest und gestattet durch den Gelenkstift nur eine Drehung um den Mittelpunkt, die andere *b* in dem beweglichen Lager läfst deshalb aufserdem noch eine Fortschiebung zu. Hat nun die bewegliche Mutter *b* das gröbere Gewinde β, so wird beim Anziehen der Mikrometerschraube *M*, diese nach §. 15., ohne Berücksichtigung der Wirkung von *b*, um die Gewindehöhe α von *a*

Fig. 2.



vorwärts d. h. nach *c* hin geschoben, während ohne Berücksichtigung der Wirkung von *a* die bewegliche Mutter *b* nach §. 14. um ihre Gewindehöhe β nach dem Kopfe der Spindel zu sich fortschieben wird. Durch die vereinigte Wirkung beider Gewindehöhen mufs demnach beim Anziehen von *M* die bewegliche Mutter *b* um die Differenz $\beta - \alpha$ nach dem Kopfe der Schraube zu sich bewegen; daher auch der Name Differenzialschraube. Eine Bewegung nach entgegengesetzter Richtung, also nach *c* hin, wird Statt finden, wenn das gröbere Gewinde in *a*, das feinere in *b* liegt.

Wäre dagegen *a* die bewegliche und *b* die festliegende Mutter, so würden beziehungsweise die entgegengesetzten Wirkungen an den eben erwähnten sich zeigen.

Um deshalb von der Differenzialschraube einen Erfolg in der Richtung der Bewegung zu haben, wie er bei der gewöhnlichen Mikrometerschraube sich zeigt, dafs nämlich die bewegliche Mutter nach dem Kopfe der Spindel bei derem Anziehen sich fortschiebt, wird man das gröbere Gewinde stets an die bewegliche Mutter zu legen haben.

§. 18.

4. Der Mutter kann eine drehende Bewegung ertheilt werden, während die Spindel ihre Lage nicht ändert. Hierbei bewegt sich selbstverständlich die Mutter längs der Spindel fort. Man macht hiervon vorzugsweise bei der Verbindung gewifser Theile zu einem Ganzen Gebrauch, ohne aber zugleich jene unabänderlich mit einander verbinden zu wollen; u. a. bei der Befestigung der Füfse des Stativs an seinem Kopfe (Fig. 52.), beim Feststellen der Umdrehungsachsen gegen ihre Büchsen, um erstere beim Transport vor dem Herausfallen zu sichern u. s. w. und beim Befestigen der kleineren transportabeln Mefsapparate auf dem Stativ. (Fig. 49.) Man versieht deshalb auch die Mutter mit einem Kopfe, der, wie der Kopf der Spindel zum Anfafsen mit der Hand, gerändert oder als Flügelmutter gebildet, oder zum Umdrehen mittelst eines Schlüfsels eingerichtet ist. (§. 13.)

§. 19.

5. Der Mutter kann eine drehende Bewegung ertheilt werden, die Spindel ist beweglich. Beim Anziehen der Mutter wird bei dieser Einrichtung eine fortschreitende Bewegung der Spindel nach dem Kopfe der Mutter

zu erfolgen. Man bedient sich derselben vorzugsweise bei gewifsen feinen Achsendrehungsvorrichtungen, bei welchen die Spannung einer in einem Gehäuse oder frei liegenden, aber auf einen beweglichen Theil wirkenden Spiralfeder modificiert oder ganz aufgehoben werden soll. (M. vgl. Figg. 60 u. 64.)

§. 20.

Todter Gang der Schraube. Eine Schraube kann nur dann vollkommen gut genannt werden, wenn bei der geringsten Umdrehung sogleich ein Fortschieben der Spindel oder Mutter bemerkbar ist, eine Eigenschaft, die man in vollem Mafse von den Schraubenmikrometern, aber auch von den zur feinen Achsendrehung angewandten Mikrometerschrauben möglichst fordert. Zeigt die Schraube die erwähnte Eigenschaft nicht, so sagt man, sie habe einen todten oder leeren Gang. Da es sehr schwierig, unmittelbar vielleicht unmöglich ist, die genannte Eigenschaft zu erreichen, so wendet man zur Erlangung derselben besondere Mittel an. Man spaltet die Mutter entweder ganz oder schneidet sie an einer Seite auf und bringt seitlich Klemm- oder Prefsschrauben an, durch welche die gespaltenen Theile nach Erfordernifs zusammengeklemmt werden können. Diese Einrichtung trifft man überall bei den Stellschrauben des Dreifufses (vgl. Fig. 53.) und den Klemmen der Mikrometerwerke. Oder man sucht das stete Zusammenpassen der Gewinde der Spindel und Mutter durch eine spiral- oder plattenförmige Feder zu erreichen, welche man so befestigt, dafs sie mit ihrem einen Ende gegen den durch die Schraube zu bewegenden Theil oder gegen den Stützpunkt der Schraube sich legt. Diese Einrichtung kommt bei den Schraubenmikrometern vorzugsweise, aber auch bei den feinen Achsendrehungsvorrichtungen, bei den Stellschrauben der Nufs u. s. w. zur Anwendung.

III. Die Libelle.

§. 21.

1. Die Verfertigung und der Gebrauch der Libelle, auch Niveau, Wafserwage genannt, beruht auf dem Satze, dafs in einem verschlofsenen Gefäfse, welches zwei Flüfsigkeiten von verschieden specifischem Gewichte enthält, z. B. Luft und Weingeist oder Schwefeläther, die leichtere immer die höchste Stelle einnehmen wird, so dafs demnach aus dem Stande der Luftblase auf die Gröfse der Neigung der Unterlage des Gefäfses geschlofsen werden kann.

2. Zum Gefäfs nimmt man entweder eine an beiden Enden luftdicht verschlofsene Glasröhre, der man selbstverständlich eine Lage giebt, dafs die Luftblase der Achse der Röhre parallel erscheint, oder eine cylindrische Büchse von Messing, die mit einem Glasdeckel luftdicht verschlofsen wird, worin also die Blase eine zur Achse normale Lage hat. Nur den ersteren, den Röhrenlibellen, gebührt eine gründliche Untersuchung, indem die andern, die Dosen-

libellen, nur zu annähernden Bestimmungen, also auch nur bei Meſsapparaten anzuwenden sind, von denen man nicht die gröſste Genauigkeit der Resultate verlangt.

Wollte man aber zur Glasröhre einen genau normalen Cylinder anwenden, so würde die nach den zeitraubendsten Versuchen vielleicht in die Mitte der Röhre gebrachte Luftblase bei der geringsten Neigung sogleich bis an das Ende der Röhre laufen und daher zur Bestimmung kleiner Neigungen nicht angewandt werden können. Aus diesem Grunde schleift man die innere Röhrenfläche mittelst eines nach einem bestimmten Kreisbogen gebogenen Metalldorns concav aus und wendet auch bei den Dosenlibellen eine planconcave Glasplatte an, deren Concavität nach Innen liegt. Das Verschlieſsen der Röhrenenden geschieht entweder durch Zuschmelzen, oder durch genau eingepasste Glasstöpsel, die mittelst umgewickelter Kalbsblase und Fischleims verkittet werden.

3. Zur tropfbaren Flüſsigkeit nimmt man zweckmäſsiger Schwefeläther, statt des Alkohols, da die Luftblase in dem ersteren nicht nur beweglicher und empfindlicher sich zeigt, sondern auch einen sichereren Gang hat und noch einmal so rasch zur Ruhe kommt, als die Blase einer mit Alkohol gefüllten Libelle.

Da aber der Schwefeläther in der Wärme sich weit mehr ausdehnt, als der Alkohol, so zeigt sich auch bei verschiedenen Temperaturen, beim ersteren die Blasenlänge verschiedener, als beim letzteren, weshalb bei gröſserem Durchmeſser der Röhre in höherer Temperatur bei den Aetherlibellen leichter ein Zerspringen der Glasröhre zu befürchten ist.

Nach dem Mechaniker Hensoldt in Wetzlar*) ist es am zweckmäſsigsten, wenn die Blasenlänge bei einer mittleren Temperatur beinahe der halben Länge des Rohrs gleich genommen wird.

4. Die Länge der Glasröhre schwankt zwischen 2 und 9 Zoll und ihr innerer Durchmeſser darf nach den darüber gemachten Erfahrungen nicht über 8 bis 9 Linien betragen. Dabei muſs im Allgemeinen die Länge des Rohrs auch proportional dem Krümmungshalbmeſser genommen werden.

5. Bei der Anwendung der Libelle soll eigentlich die Mitte der Länge der Blase als Beobachtungspunkt genommen werden; da dieser aber unmittelbar sich nicht ablesen läſst, so bringt man auf der Röhre bis nahe an ihre Enden eine Eintheilung in ganze oder halbe Pariser Linien an, die dann noch weiter nach dem Augenmaſs subdividiert wird. Der Nullpunkt derselben wird meistens in der Mitte und nur ausnahmsweise an dem einen Ende der Röhre angenommen. Bei der ersteren Eintheilung ist die eine Hälfte mit +, die andere mit —, oder mit den Richtungen der Himmelsgegenden zu bezeichnen.

Auch wird die Glasröhre meistens noch mit einer Faſsung umgeben, in welcher die Röhre so zu liegen kommt, daſs die ganze Theilung sichtbar ist.

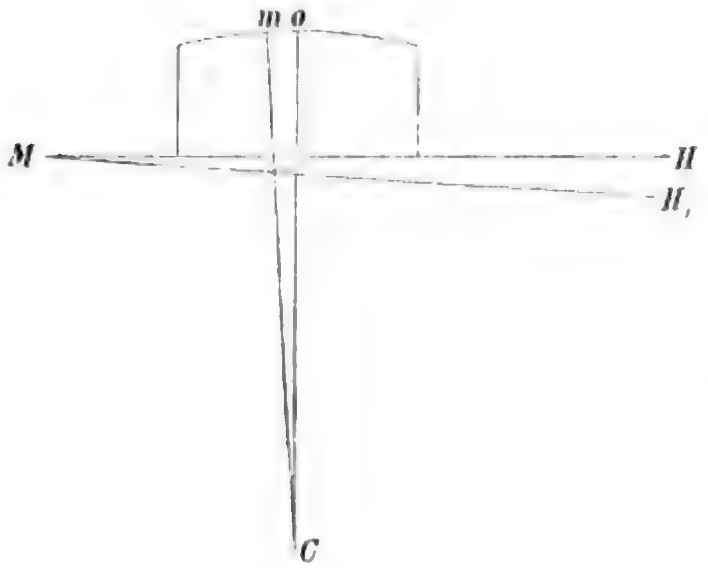
*) Das orthoskopische Ocular u. s. w. von Kellner. Braunschweig 1849. S. 51.

Zuweilen ist letztere in der Mitte so unterbrochen, dafs ein Raum von etwa fünf oder zehn Theilen frei bleibt. Zur Erleichterung des Ablesens giebt man den Theilstrichen für die Einer, Fünfer und Zehner verschiedene Längen.

§. 23.

Die Empfindlichkeit der Libelle. Es sei in Fig. 3. Co der Halbmesser der inneren Krümmung der Libelle. Ist o die Mitte der Luftblase, deren Sehne parallel mit einer Linie oder Ebene MH ist und kommt dann MH in die Lage MH_1, so wird offenbar, wenn $mCo = HMH_1$ ist, die Mitte der Blase von o nach m gehen. Man sagt dann, die Libelle gebe bei dem Winkel $HMM_1 = \alpha$ den Bogen om Ausschlag. Ist nun $om = b$, $Co = r$, so bestimmt sich die Gröfse des Ausschlages, oder die Empfindlichkeit der Libelle durch den Ausdruck

Fig. 3.



$$b = \frac{r\,\pi\,.\,\alpha}{180^0} = 0{,}000004848\,.\,r\,.\,\alpha \text{ Sekunden.}$$

Dieser Bogen ist daher bei demselben Winkel α um so gröfser, d. h. die Libelle um so empfindlicher, je gröfser ihr Krümmungshalbmefser ist. Umgekehrt, wenn b nebst α d. h. dem Ausschlage der Libelle gegeben ist,

$$\text{ist} \quad r = \frac{b}{\alpha}\,206265 \text{ in Theilen der Eintheilung der Röhre.}$$

Ist also z. B. $b = 1$ Linie und giebt die Libelle auf 4 Theile Ausschlag einen Winkel α von 20 Sekunden an, so ist der Krümmungshalbmefser der Libelle

$$= \frac{206265\,.\,4}{20} = 41253 \text{ Linien oder über 286 Fufs.}$$

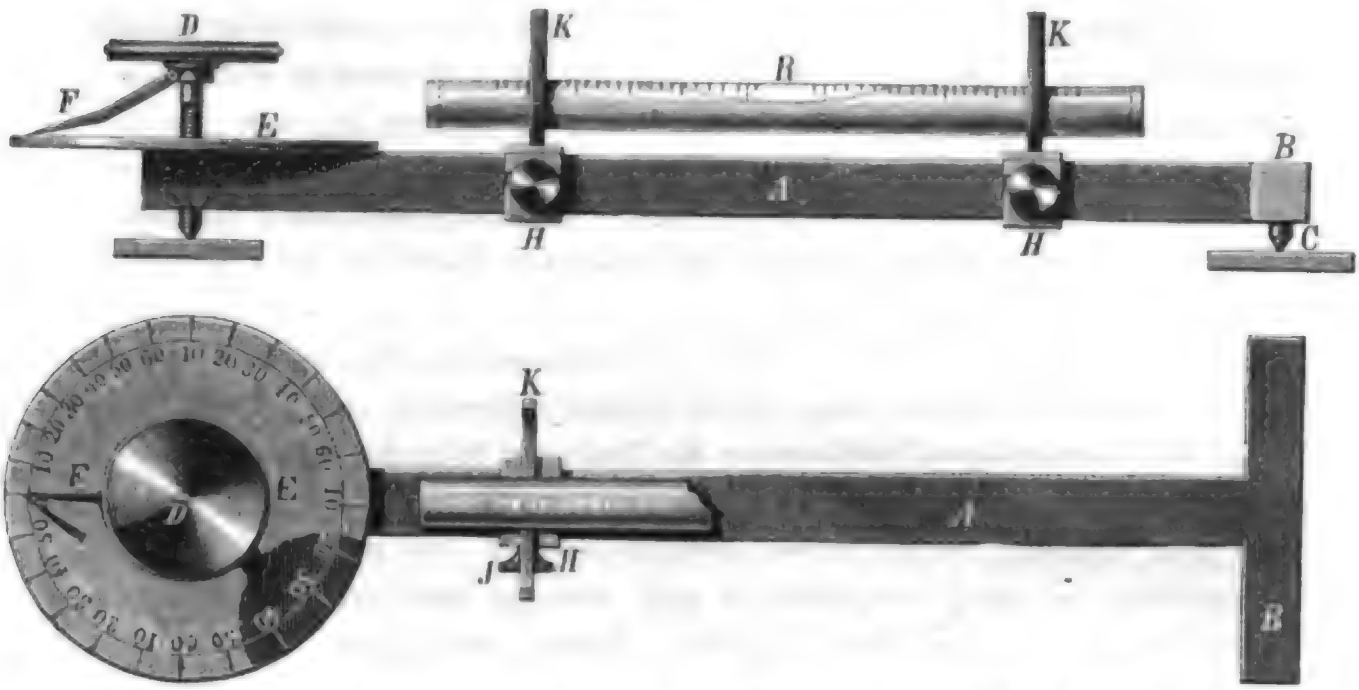
Die Empfindlichkeit der Libelle eines Winkelmefsers mufs immer, theils der Güte des Fernrohrs, theils der Angabe der Verniere der eingetheilten Kreise entsprechen.

§. 23.

Untersuchung der Richtigkeit des Kreisbogens einer Röhrenlibelle. Ob der Bogen, nach welchem eine Libelle gekrümmt ist, wirklich ein Kreisbogen ist, kann man leicht durch Hülfe einer feinen Schraube erfahren, indem, bei vorausgesetzter gleicher Eintheilung, nur der Kreisbogen die Eigenschaft hat,

dafs zu gleichen Umdrehungen der Schraube auch überall eine gleiche Anzahl von Theilen der Röhre gehört. Zur Untersuchung dient ein durch Fig. 4. dargestellter Hülfsapparat.

Fig. 4.



Eine parallelepipedische Stange *A* von Eisen von bestimmter Länge (16 bis 17 Zoll) ist an dem einen Ende mit einem eben solchen Stabe *B* von etwa 5 bis 6 Zoll Länge rechtwinklicht verbunden, in welchem in gleichen Abständen von der Stange *A* zwei gleich hohe Stahlspitzen *C* eingeschraubt sind. Durch das andere Ende der Stange *A* geht eine Schraube *D* mit gleichem und feinem Gewinde, durch welche *A* um *CC* drehbar ist; zugleich ist auf der Stange *A* ein etwa fünfzölliger Kreis *E* so befestigt, dafs die Achse der Schraube durch seinen Mittelpunkt geht und in 4.60 oder 240 gleiche Theile getheilt ist; an dem Kopfe der Schraube ist ein mit einem Gelenk versehener Zeiger *F* angebracht, durch welchen die Drehung der Schraube auf dem Kreise bestimmt werden kann. Längs des Stabes *A* lafsen sich 2 Hülsen *H* verschieben und durch eine Druckschraube *J* an dem Stabe *A* feststellen. Nach Oben trägt jede derselben zur Aufnahme der Glasröhre *R* einen gabelförmigen Fortsatz *K*.

Die Schraube des der Zeichnung entsprechenden Apparats hat auf 1 Hann. Zoll 52 Gewinde, also ist eine Gewindehöhe oder Gangweite $= 0{,}0192307$ Zoll $= h$. Der Abstand ρ der Schraubenspitze von der Geraden, welche die Spitzen C, C verbindet, beträgt 16,53 Hann. Zoll, folglich ist, wenn α den zu einer Umdrehung der Schraube gehörigen Winkel bezeichnet,

$$tg\,\alpha = \frac{h}{\rho} = \frac{0{,}0192307}{16.53},$$

woraus $\alpha = 239{,}1$ Sekunden folgt.

Sollten daher einer Umdrehung genau 240 Sekunden oder 4 Minuten zugehören, so würde, da

$$tg\,4' = 0.0011636 \text{ ist, bei derselben Schraube}$$

$$\rho = \frac{h}{tg\,\alpha} = 16{,}63 \text{ Hann. Zoll}$$

betragen müfsen.

In Bezug auf die Untersuchung selbst ist zu bemerken, dafs, wenn dieselbe zuverläfsige Resultate liefern soll, vor Allem ein fester Standort zu wählen, auch der Hauch aus Mund oder Nase an der Libelle abzuhalten ist, und man dem Körper schon vor dem Versuche eine zum Beobachten bequeme Lage geben und während der Untersuchung beibehalten mufs. Man bringt dann durch Umdrehung der Schraube das eine Blasenende an die äufsersten Theile des einen Endes der Röhre, dreht die Schraube immer um gleiche Theile und liest den jedesmaligen Stand der Enden der Blase ab. Unter der Voraussetzung, dafs die Theilung der Röhre richtig ist, müfsen dann überall gleiche Differenzen sich zeigen. Auch kann der Versuch durch Modificierung der Theile der Schraube, durch Rückwärtsbringen der Blase u. s. w. mehrfach wiederholt werden. Wesentlich ist es aber, vor jeder Ablesung, bei mit Aether gefüllten Libellen, erst mindestens ½ Minute verstreichen zu lafsen, um sicher zu sein, daſs der Stand der Blase sich nicht mehr ändert; bei mit Alkohol gefüllten Röhren mufs jener Zeitraum aber mindestens verdoppelt werden.

Beispiel 1. Bei einer mit Alkohol gefüllten Libelle, die ihrer Länge nach in 100 gleiche Theile getheilt war, wurde nach jeder Ablösung die Schraube des Apparates um 10 Theile gedreht. Die Beobachtungen waren folgende:

№ des Versuchs	Linkes Ende der Blase	Rechtes Ende der Blase	Mitte der Blase	Differenz
1	0,5	40,3	20,4	
2	7,0	46,5	26,8	6,4
3	13,8	53,3	33,5	6,7
4	25,0	65,0	45,0	11,5
5	37,0	77,0	57,0	12,0
6	46,0	86,0	66,0	9,0
7	54,0	94,0	74,0	8,0
8	57,3	97,0	77,1	
9	48,5	88,0	68,2	8,9
10	40,3	80,0	60,1	8,1
11	28,5	68,0	48,2	11,9
12	16,3	56,0	36,1	12,1
13	8,5	48,0	28,2	7,9
14	0,5	40,3	20,4	7,8

Noch drei andere Reihen von Versuchen zeigten ebenfalls, dafs die Mitte der Röhre gegen ihre Enden so stark von einem Kreisbogen abweicht, dafs die Libelle zu genauen Einstellungen untauglich ist.

Beispiel 2. Eine andere mit Aether gefüllte Libelle war ihrer Länge nach in 70 gleiche Theile getheilt; die Beobachtungen wurden auf die vorhin angegebene Art ausgeführt.

№ des Versuchs	Linkes Ende der Blase	Rechtes Ende der Blase	Mitte der Blase	Unterschied	
1	41,3	4,3	22,8		
2	44,1	6,9	25,5	2,7	
3	46,5	9,4	27,9	2,4	
4	48,9	11,7	30,3	2,4	
5	51,4	14,2	32,8	2,5	Das Mittel der Beobachtungen giebt daher 2,5
6	54,0	16,7	35,3	2,5	
7	56,3	19,6	37,9	2,6	
8	59,0	21,8	40,4	2,5	
9	61,2	24,3	42,7	2,3	
10	64,0	26,8	45,4	2,7	

§. 24.

Bestimmung des Ausschlages der Libelle.

1. Durch Hülfe des im vorigen Paragraph beschriebenen Apparats ergiebt sich nach dem eben daselbst angegebenen Versuche der Ausschlag sehr einfach dadurch, dafs man das arithmetische Mittel aus allen erhaltenen Differenzen in die Zahl der Theile der Scheibe, um welche man immer die Schraube gedreht hatte, dividiert. So ergiebt sich demnach für die dem obigen zweiten Versuche zum Grunde gelegte Libelle auf 1 Theil ein Ausschlag von 4 Secunden.

2. Durch Hülfe der Stellschrauben des Dreifufses. Zu diesem Zwecke mufs wenigstens der Kopf der einen Stellschraube eine Eintheilung, gewöhnlich in 100 gleiche Theile, haben und die Theilung an einem daneben angebrachten Index abgelesen werden können. Man setzt dann die Libelle in ihrer Fafsung auf die Zapfen der Umdrehungsachse des Fernrohrs, bringt durch Umdrehung der Alhidade die Libelle über den Arm des Dreifufses, dessen Stellschraube die erwähnte Eintheilung hat und stellt durch Umdrehung der Schraube den Index auf 0. Mit den beiden anderen Stellschrauben bringt man darauf die Blase der Libelle ganz an das eine Ende der Eintheilung der Röhre und liest die Theilung an den Enden der Blase ab, wodurch sich daher auch deren Mitte ergiebt. Dann dreht man

die erstere Stellschraube, bis die Luftblase an das entgegengesetzte Ende der Glasröhre kommt, so hat man, wenn wieder die Theilung an den Enden der Blase abgelesen wird, dadurch das Verhältnifs zwischen den Theilen der Stellschrauben und den Theilen der Libelle, um welche sich die Mitte der Blase bewegt hat. Da man nun diesen Versuch auf die beschriebene Weise, so oft man will, wiederholen aber auch nach Gefallen abändern kann, so erhält man aus dem arithmetischen Mittel aller Beobachtungen auch den wahrscheinlichsten Werth des erwähnten Verhältnisses. Ist also auf ähnliche Weise, wie im vorigen Paragraph gezeigt ist, das Bogenmafs für den einen Theil des Schraubenkopfes bestimmt, so ergiebt sich leicht der Ausschlag der Libelle.

Das Folgende ist das Resultat der Untersuchung einer Libelle zum Meyersteinschen Universalinstrumente.

№ der Versuche	Theile der Stell-schraube	Positive Seite der Libelle	Negative Seite der Libelle	Mitte der Blase	Unterschied
1	0	56,0	5,0	+ 25,5	43,25
	60	12,5	48,0	— 17,75	
	60	52,0	11,75	+ 20,125	28,125
	100	22,0	38,0	— 8	
2	0	56,3	3,5	+ 26,4	34,9
	50	21,5	38,5	— 8,5	
	50	57,5	2,3	+ 27,6	36,975
	100	20,75	39,5	— 9,375	
3	0	52,0	6,0	+ 23,0	35,75
	50	16,5	42,0	— 12,75	
	50	51,0	7,0	+ 22,0	37,0
	100	14,0	44,0	— 15,0	
4	0	53,0	4,3	+ 24,35	36,1
	50	17,0	40,5	— 11,75	
	50	53,5	4,0	+ 24,75	36,875
	100	16,5	40,75	— 12,125	
5	0	51,25	3,25	+ 24,0	35,5
	50	16,0	39,0	— 11,5	
	50	52,3	2,0	+ 25,15	35,15
	100	17,0	37,0	— 10,0	

Summa 359,625

5) 71,925.

Da nun nach §. 76. zu 100 Theilen des Kopfes der Stellschraube 334,4079 Sekunden gehören, so gibt 1 Theil der Libelle $\frac{334,4079}{71,925} = 4,66$ Sekunden.

Diese Bestimmung bietet vor der in 1. den Vortheil dar, dafs die Füfse der Libelle nicht entfernt zu werden brauchen und daher die in einzelnen Fällen nöthige Prüfung und Berichtigung nicht wiederholt zu werden braucht.

§. 25.

Anwendung der Libelle bei den Mefswerkzeugen, und deren Construction.

1. In den gewöhnlichen Fällen soll die Libelle dazu dienen, um bestimmte Theile der Mefsapparate möglichst horizontal zu stellen, z. B. die Mefstisch- und Boussolenplatte (wobei man sich indessen meistens der Dosenlibellen bedient), die Umdrehungsachse des Theodoliths, das Fernrohr der Nivellierinstrumente u. s. w. Bei gröfseren Mefswerkzeugen soll sie die Prüfung und Berichtigung der Bewegung ihrer Horizontal- und Verticalachsen gewähren und dadurch zur Versicherung des horizontalen oder verticalen Standes der Limbuskreise dienen. Auch die Bestimmung der Neigung bestimmter Instrumententheile gegen die Horizontale oder Verticale soll die Libelle gestatten, wie diefs u. a. bei den Umdrehungsachsen der gröfseren Mefsapparate, sowie bei den Mefsstäben, die zur Mefsung einer Basis angewandt werden, gefordert wird. Endlich soll die Libelle, mit Uebergehung einiger anderer Zwecke, in manchen Fällen auch das Mittel zur Versicherung der unveränderten Lage der Vernierkreise oder des Mikroskopenträgers bei den Höhenapparaten, wenn der Limbuskreis in eine rotierende Bewegung versetzt wird, gewähren.

2. Um diese verschiedenen Zwecke einzeln oder vereinigt zu erreichen, umgiebt man die Glasröhre der Röhrenlibelle, wie schon im §. 21. bemerkt ist, entweder mit einer Metallfafsung (einem Gehäuse), die an jedem Ende mit einem Deckel geschlossen und auf der oberen Seite so weit ausgeschnitten ist, dafs längs der ganzen Eintheilung das Spiel der Luftblase beobachtet werden kann, oder man giebt ihr eine halbcylindrische Unterlage, mit welcher sie durch übergreifende Bügel verbunden ist. Aufserdem bringt man entweder an der Fafsung oder an den Fortsätzen der Deckel Stell- oder Druckschrauben an, um eine geringe Verschiebung im verticalen und horizontalen Sinne der Glasröhre gegen die Fafsung, oder beider gegen einen dritten festen Theil der Libelle vornehmen zu können. Man nennt die erwähnten Schrauben deshalb Correctionsschrauben der Libelle.

3. Die im §. 21. erwähnte Büchse der Dosenlibelle hat im Boden zur Füllung mit Alkohol oder Schwefeläther eine kleine Oeffnung, die durch eine Schraube luftdicht geschlofsen wird. Der Glasdeckel ist nicht allein genau in sein Lager eingeschliffen, sondern auch noch sorgfältig verkittet. Seine Mitte wird durch einige concentrische Kreise bezeichnet. Den Fufs der Büchse bildet entweder ein schmaler Rand, oder eine runde Platte, die in eine andere mit

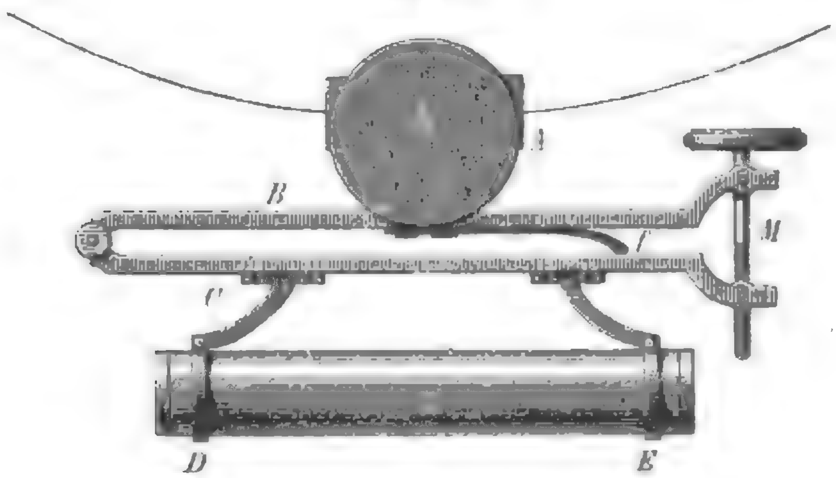
Correctionsschräubchen versehene Platte eingelafsen wird, oder eine Erweiterung in drei Armen, an deren Enden Stellschrauben zur Correction sich finden, weshalb in diesem Falle auch jeder Arm aufgeschlitzt und mit einer Klemmschraube versehen ist.

A. Die Röhrenlibelle.

§. 26.

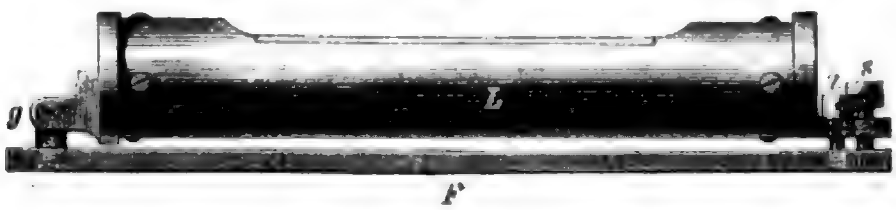
Die verschiedenen Constructionen der Röhrenlibelle werden bedingt, theils durch die Art ihrer Anwendung bei den Mefsapparaten, theils durch die verschiedene Beschaffenheit der angebrachten Correctionsverrichtungen. Bei den eigentlichen Winkelmefsern wird die Libelle entweder 1. auf die Zapfen der Umdrehungsachse des Fernrohrs gestellt, oder 2., aber nur bei einzelnen Constructionen der Winkelmefser, an die Zapfen gehangen, oder 3., zur Versicherung des festen Standes des Vernier- oder Limbuskreises am Höhenkreise mittelst einer Klemmschraube nur temporär an dem genannten Kreise befestigt, in diesem Falle auch wohl mit der einen Stütze mittelst einer Platte verbunden, oder 4. endlich mittelst zweier Sättel auf dem einen Querarme des senkrechten Mikroskopenkreuzes angebracht, in welchem Falle sie ebenfalls nur die unveränderte Lage desselben verbürgen soll. In dem ersten Falle nennt man die Libellen Stehoder Setzlibellen, da der abwärts in eine Platte auslaufende Deckel oder eine mit demselben in Verbindung stehende Platte in einen ausgeschnittenen Fufs zum Aufsetzen endigt, wie die **Figg. 5. 6.** u. **7.** (s. Seite 24 u. 25) zeigen. Man bedient sich derselben auch bei einigen Nivellierinstrumenten zum Aufsetzen auf das Fernrohr, **Fig. 8.** (s. Seite 26) Im zweiten Falle endigt die vorhin erwähnte Platte aufwärts in einen Haken zum Anhängen, wie **Fig. 9.** (s. Seite 26) zeigt, daher Hängelibelle genannt, die jetzt nur noch selten Anwendung findet. Im dritten Falle wird die Libelle mittelst einer Klemmschraube *K* (Fig 10.) und zweier Platten *A* auf ähnliche Weise an dem Kreise befestigt,

Fig. 10.



wie das Mikrometerwerk mit demselben verbunden wird. Die eine der Platten steht mit zwei durch ein Zirkelgewinde mit einander verbundenen Armen *B* und *C* in Verbindung, die sich an dem andern Ende gabelförmig erweitern und daselbst eine Mikrometerschraube *M* enthalten, mittelst welcher die Luftblase der Libelle *L* zum Einspielen gebracht wird. Die zwischen beiden Armen befindliche Stahlfeder *f* verleihet dem unteren Arme, der die Mutter der Mikrometerschraube trägt, die erforderliche Spannung und sichert zugleich vor dem todten Gange der Schraube. An dem letzteren Arme sind die beiden Ringe *D* und *E* befestigt, welche die Libelle tragen, die selbstverständlich eigener Correctionsschrauben nicht bedarf. Man nennt Libellen dieser Art Versicherungslibellen. Diesen Namen führt auch die in Fig. 11. dargestellte Libelle *L*, die mittelst des Gewindes

Fig. 11.



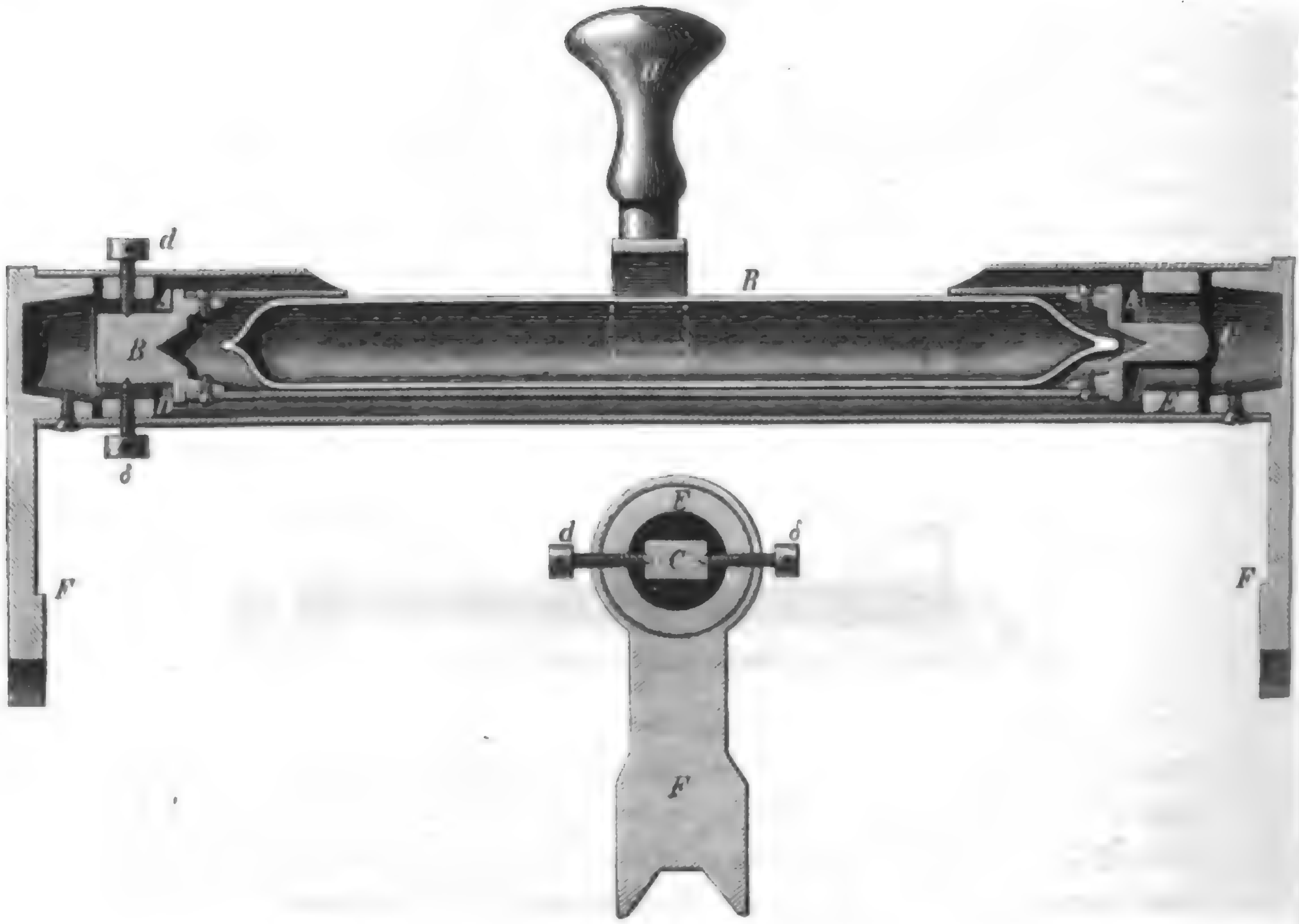
g gegen die Fufsplatte *F* drehbar, mit der am entgegengesetzten Ende befindlichen Zugschraube *z* aber zu befestigen ist, während die Stellschraube *s* eine Verstellung der Libelle in verticaler Richtung gestattet. Diese Einrichtung kann man auch beim Horizontalstellen oder bei der Bestimmung der Neigungswinkel der Ebenen gegen den Horizont anwenden.

Den vierten Fall stellt **Fig. 12.** (s. Seite 27) dar, worin *S S'* die beiden Sättel bezeichnen, deren einer ein Gewinde, der andere aber die Correctionseinrichtung für die verticale Richtung trägt. Die nämliche Einrichtung findet auch bei ben Collimatoren statt. Bei der Anwendung derselben bei einem Nivellierinstrumente mufs aber mit dem Gewinde zugleich eine Correction in horizontaler Richtung möglich sein, wie diefs ebenfalls Fig. 12. zeigt.

§. 27.

Die vollständige Correction erfordert bei den Setz- und Hängelibellen und auch bei den Libellen, die mittelst zweier Sättel auf einem um seine Achse drehbaren Fernrohre befestigt sind, wie dies bei einigen Nivellierinstrumenten der Fall ist, eine Bewegung entweder der Glasröhre mit der Fafsung oder Unterlage zugleich gegen die Füfse, oder der Glasröhre für sich gegen die cylindrische Fafsungsröhre, nicht nur in verticaler, sondern auch in seitlicher Richtung, während bei allen anderen auf Fernröhren oder anderen Unterlagen befestigten Libellen eine Correction in verticaler Richtung genügt. Diese verschiedenen Berücksichtigungen haben bei den Künstlern auch verschiedene Constructionen hervorgerufen, von denen aber nur die zweckmäfsigsten betrachtet werden sollen.

Fig. 5.



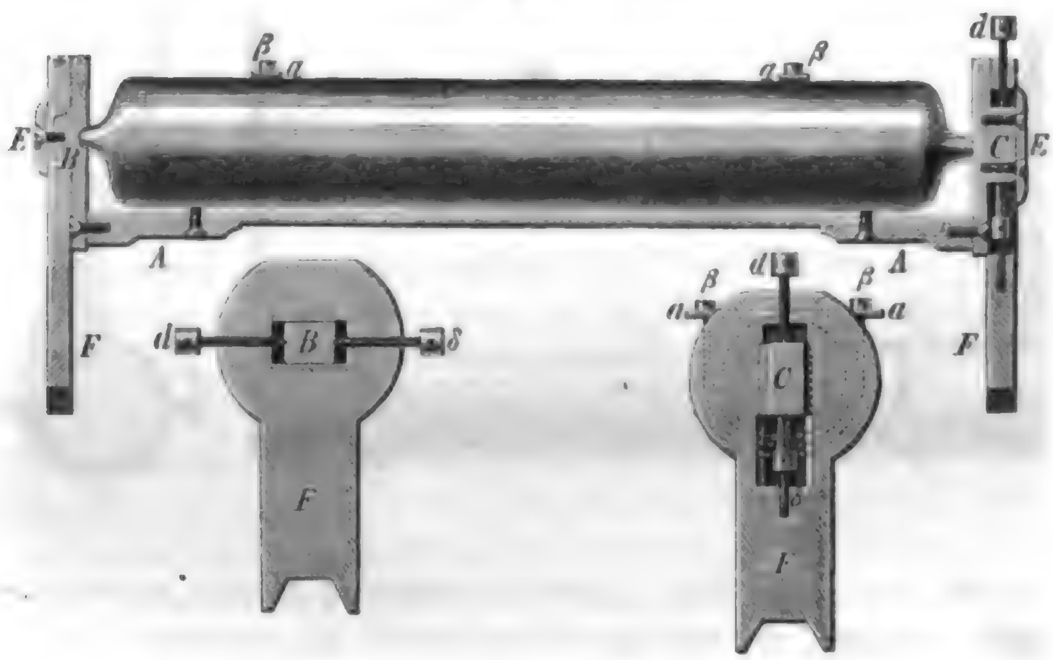
1. Fig. 5. stellt eine nur bei gröfsern Mefswerkzeugen angewandte Setzlibelle mit zwei einander umschliefsenden Gehäusen dar, um die Temperaturunterschiede auf die Glasröhre möglichst zu beseitigen. Die an beiden Enden zugeschmolzene Glasröhre *R* ist von dem inneren Gehäuse umgeben, dafs erstere nur einen sehr geringen Spielraum in letzterem hat. Jeder der beiden Deckel *A*, *A*, welche durch Schrauben mit dem Gehäuse verbunden sind, läuft in einen prismatischen Fortsatz (Arm) *B* und *C* aus, gegen welche die Correctionsschrauben *d*, *d*, δ, δ als Druckschrauben treten. Ein zweites Gehäuse, welches das erstere bis auf den oberen Ausschnitt ganz umgiebt, enthält zwei Ringe *D* und *E*, in welchen die Muttern der genannten Druckschrauben liegen. Die Füfse *F*, *F* bilden die Fortsätze der beiden zu dem äufseren Gehäuse gehörigen Deckel. Bei einer beabsichtigten Veränderung der Lage der Glasröhre wird die eine der Druckschrauben *d* oder δ zu lösen sein, wenn die zugehörige entgegengesetzte δ oder *d* angezogen werden soll. *H* ist ein auf der äufseren Fafsung befestigter Handgriff zum Aufsetzen und Abnehmen der Libelle.

Fig. 6.



2. In Fig. 6. sind die beiden Füfse *F*, *F* mit der Platte *A* durch Schrauben verbunden, nehmen Oben in Einschnitten die Arme *B* und *C* der beiden Deckel auf und enthalten die Muttern für die Druckschrauben *d*, δ. Die eine derselben am Arme *B* wird durch eine unter demselben liegende Spiralfeder vertreten; bei dem anderen Arme *C* mufs ebenfalls die eine der Druckschrauben erst gelöst werden, wenn die andere angezogen werden soll.

Fig. 7.



3. Bei der in Fig. 7. dargestellten Libelle ruht die Glasröhre *R* in einem Halbcylinder *A*, *A*; durch zwei Platten *a*, *a* mit untergelegten Korkscheibchen

wird die Röhre in dem Lager mittelst der Zugschrauben β, β festgehalten. An den Grundebenen des Lagers sind Platten durch Schrauben befestigt, welche die Correctionsarme *B* und *C* enthalten. Für diese besitzen die Fufsplatten *F*, *F* die erforderlichen Einschnitte, so wie die Muttern der Correctionsschrauben *d*, δ. Eine sichere Bewegung der Arme wird durch die vorgeschraubten Führungsplatten *E*, *E* erreicht. Während die bei dem Arme *B* angebrachten Correctionsschrauben die in 1. und 2. angegebene Behandlung erfordern, werden die des Armes *C* gleichzeitig beide angezogen oder gelöst.

Fig. 8.

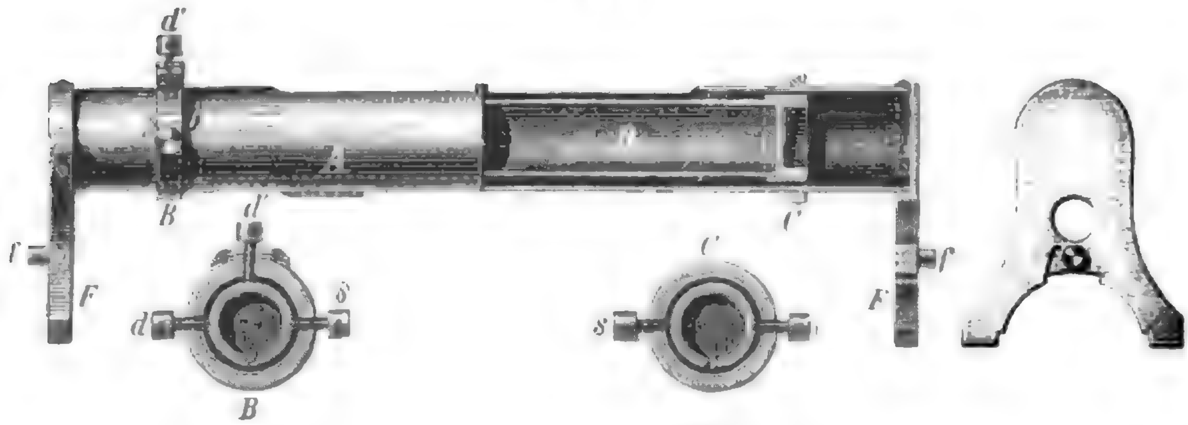
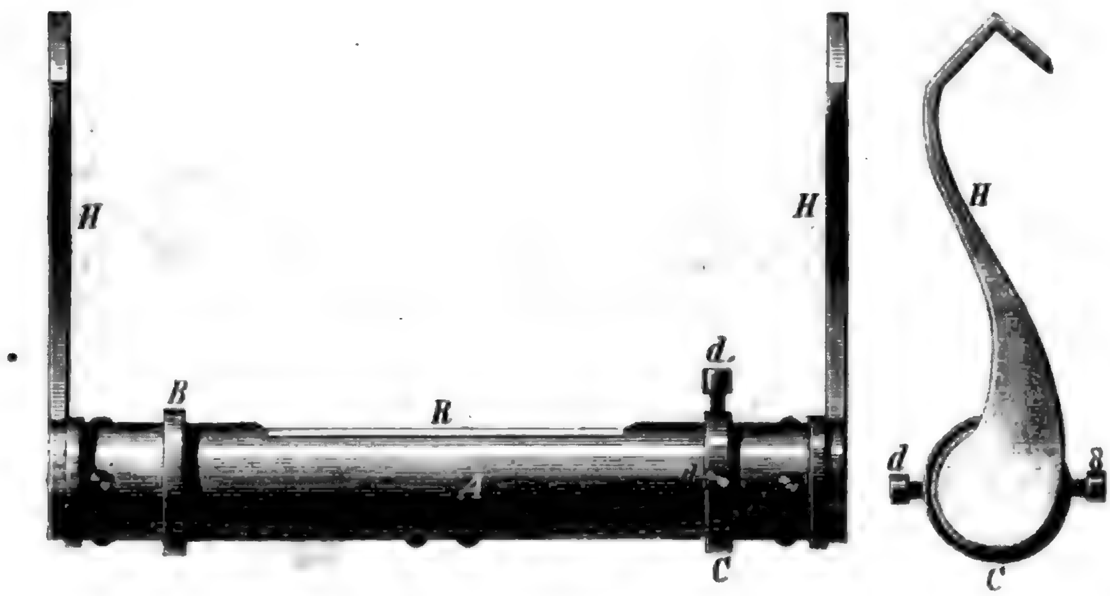


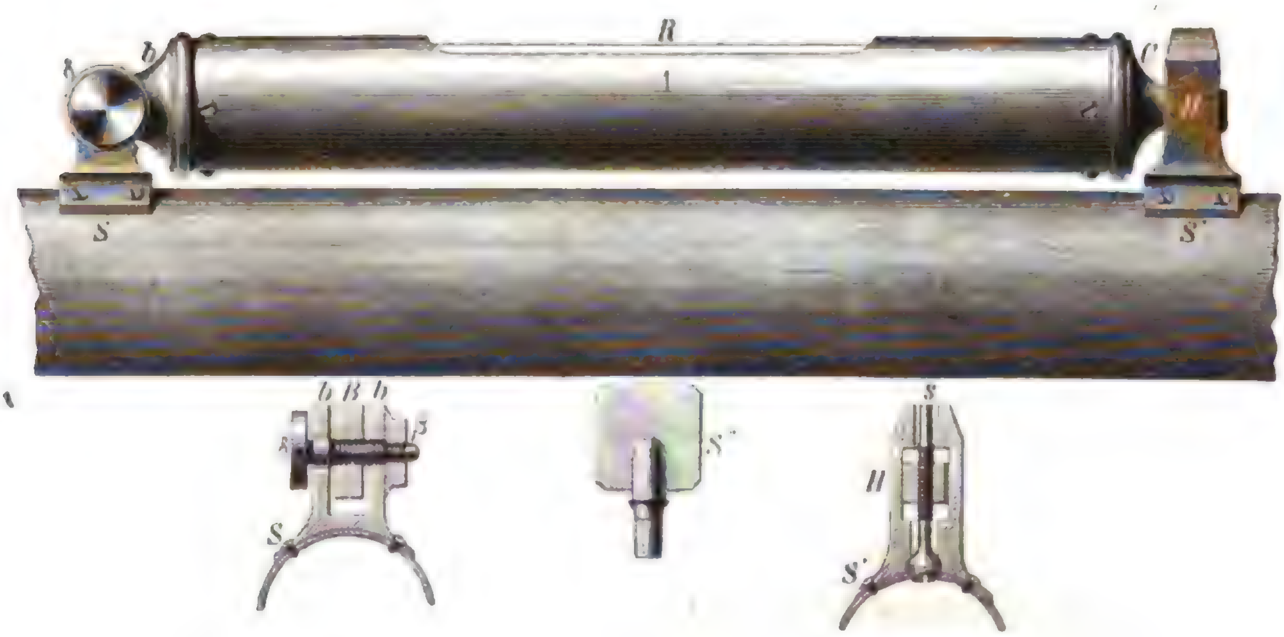
Fig. 9.



4. Bei den in den Figg. 8. und 9. dargestellten Libellen wird bei der angewandten Correction die Glasröhre *R* für sich in der Fafsung *A* verschoben, während diese mit den Deckeln und den ab- oder aufwärts erweiterten Füfsen *F* oder Haken *H* ein Ganzes darstellen. Bei dieser Einrichtung hat deshalb die Glasröhre in der cylindrischen Fafsung nicht nur den erforderlichen Spielraum,

sondern ruht aufserdem auf einer Feder, die an der untern Mantelfläche des Fafsungscylinders mittelst Zugschräubchen befestigt ist. Die Correctionsschrauben *d*, *δ* und *d'*, deren Muttern in einem die Fassung umgebenden Ringe *B*, *C* liegen, wirken entweder unmittelbar auf die Glasröhre, wie in Fig. 9., oder auf Metallringe *b*, *c*, welche, wie in Fig. 8., die Verschlufsplatten der Glasröhre umgeben; in diesem Falle ist die Röhre um die Spitzen der Schrauben *s* und *σ* drehbar. Ueber die an den Füfsen *F* vortretenden Stifte *f*, *f* legen sich Bügel, welche die auf glockenmetallenen Ringen des Fernrohrs ruhende und zum Nivellieren dienende Libelle der Fig. 8. festhalten. In Fig. 9. sind *H*, *H* die Haken, welche auf die Zapfen der Fernrohrachse des Winkelmefsers gehangen werden.

Fig. 12.



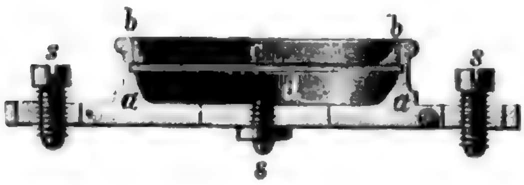
5. Fig. 12. stellt eine mittelst der Sättel *S*, *S'* auf dem Fernrohre eines Nivellierinstrumentes befestigte Libelle dar. Mit den Deckeln des Fafsungscylinders *A* der Glasröhre *R* bilden die Arme *B* und *C* wieder ein Ganzes. Der Arm *C* geht durch ein Gehäuse *H* und enthält die Mutter der Stellschraube *s*, die mit ihrer Kugel in die Hülse des Fernrohrs etwas eingesenkt ist und die, wegen der Bewegung des Arms nothwendige geringe Drehung der Schraube möglich macht. Die Umdrehung der Schraube geschieht mittelst des Schlüfsels *S''*. Dem Arm *B* kann durch die Stellschraube *δ* eine seitliche Verschiebung zwischen den Backen *b*, *b* ertheilt werden. Die Mutter *β* dient zum Festhalten der Stellschraube. Diese gestattet aber zugleich eine Achsendrehung des Arms *B*, welche die an dem entgegengesetzten Ende vorgenommene Correction erfordert. Diese sehr zu empfehlende Einrichtung giebt der Mechaniker Frerk und Sohn meistens den Libellen seiner Nivellierwerkzeuge.

B. Die Dosenlibelle.

§. 28.

1. Von den im §. 25. 3. angedeuteten Verschiedenheiten der Construction der Dosenlibelle stellt Fig. 13. nur die Art dar, wobei der Fufs in 3 Armen erweitert und mit Correctionsschrauben *s, s, s* versehen ist. *a, a* ist die Büchse, mit welcher die 3 Arme unmittelbar verbunden sind. Durch den Ring *b, b* wird der Glasdeckel *c* gehalten; *d* ist die im Boden der Büchse befindliche Schraube, durch deren Oeffnung das Füllen geschieht.

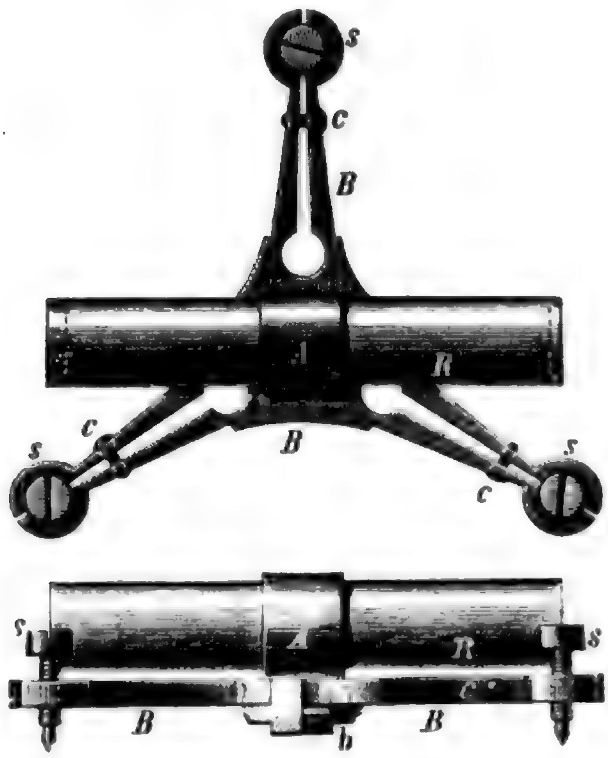
Fig. 13.



2. Fig. 14. stellt eine auf drei mit Stellschrauben *s, s, s* versehenen Armen ruhende Röhrenlibelle vor, die zwar wie eine Dosenlibelle zur Einstellung von Ebenen angewandt werden kann, aber eine gröfsere Genauigkeit des Einstellens darbietet. Die Glasröhre *R* wird in der Mitte von einer cylindrischen oder würfelförmigen Fafsung *A* umgeben, die um ihre Verticalachse auf der Fufsplatte *B, B* drehbar ist und unter derselben von einer Mutter *b* gehalten wird. Die Arme sind, wie die in Fig. 13., zur Vermeidung des todten Ganges der Stellschrauben aufgeschlitzt und mit kleinen Klemmschräubchen *c, c, c* versehen.

Ueber die Prüfung und Berichtigung der Dosenlibelle wird im §. 31. das Nöthige angegeben werden.

Fig. 14.

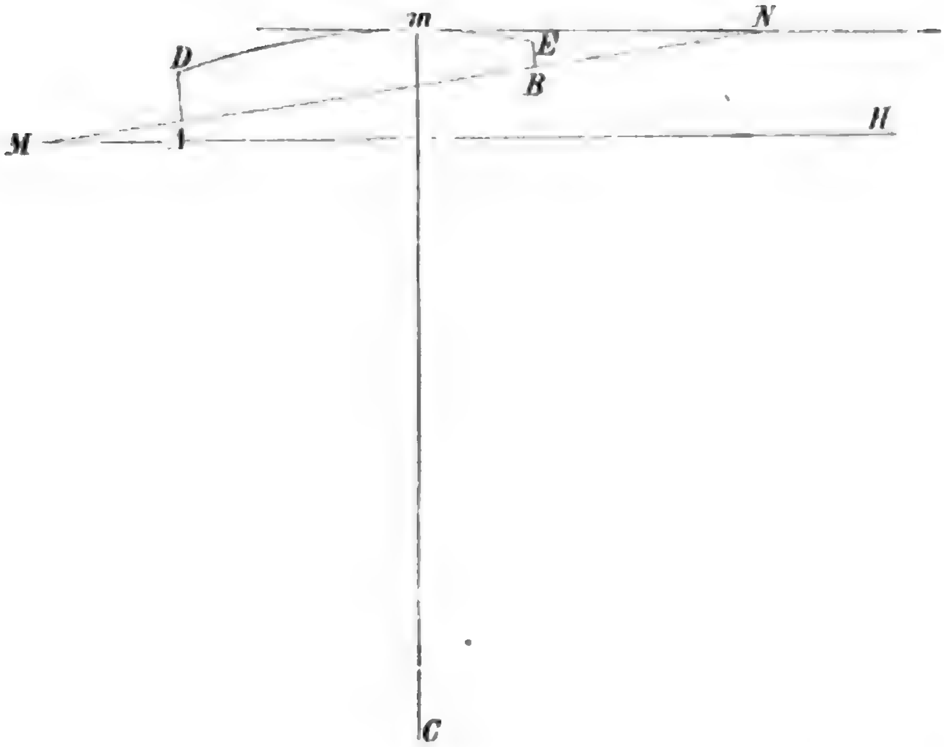


§. 29.

Bestimmung der Neigung einer gegebenen Linie oder Ebene *MN* durch die Röhrenlibelle.

1. Es sei in Fig. 15. *DmE* die innere Krümmung einer Röhrenlibelle *ABDE*, so ist der Punkt *m* der Mitte der Luftblase der höchste, für welchen

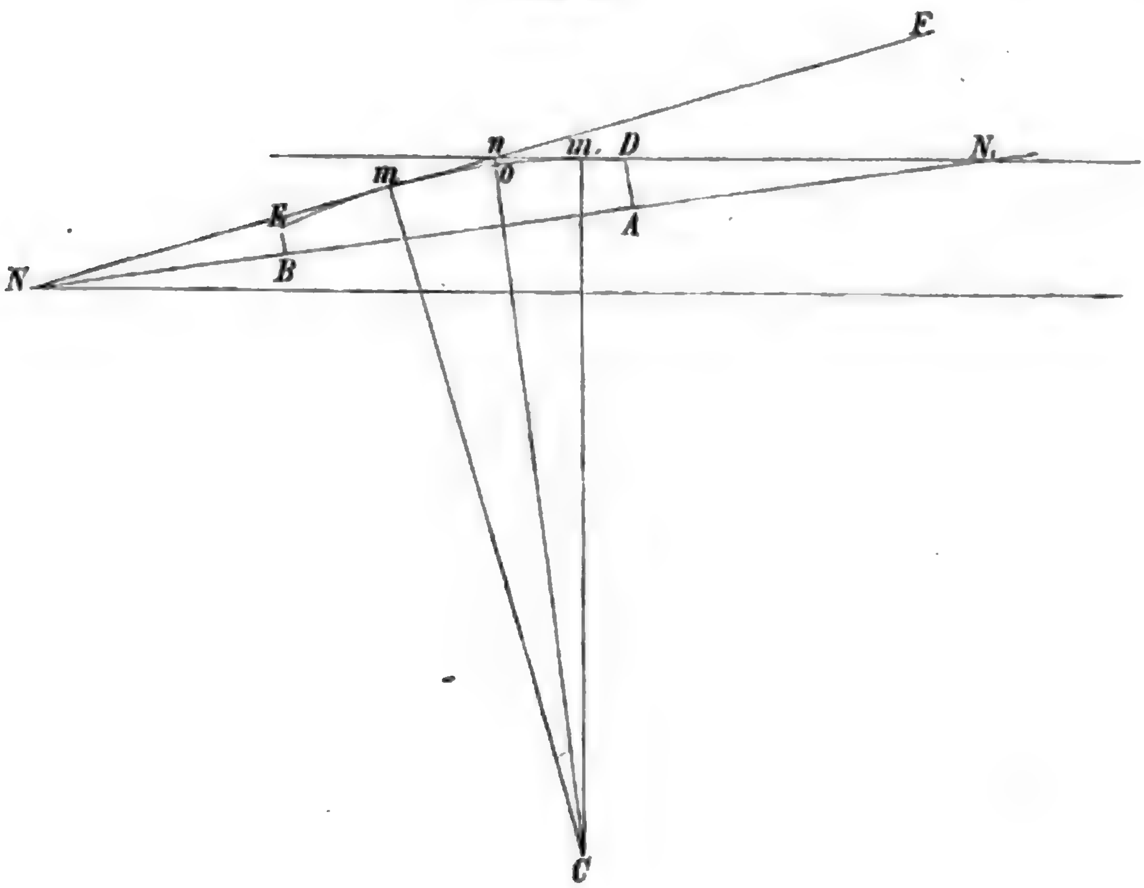
Fig. 15.



die Berührungslinie $m N$ horizontal ist. Umgekehrt wird auch an dem höchsten Punkte der Luftblase einer Libelle die Berührungslinie immer horizontal sein und daher $m N M = i$ den Neigungswinkel der Geraden $M N$ gegen den Horizont $M H$ darstellen.

2. Stellt man nun die Libelle um, so dafs in Fig. 16. A die Stelle B und

Fig. 16.



B die Stelle A einnimmt und bezeichnet für diese Stellung m_1 den höchsten Punkt der Luftblase, so ist nach 1. $m_1 N_1$ horizontal und daher auch $m_1 N_1 N = i$, mithin, wenn Nm über n hinaus verlängert wird, $Fn N_1 = 2i$, d. h. der Winkel, den die beiden Berührungslinien für die beiden höchsten Stellen der Blase bilden $= 2i$ und daher auch $m C m_1 = 2i$. Bezeichnet demnach der Punkt $0 = \frac{m + m_1}{2}$ den Mittelpunkt des Bogens $m m_1$, so ist $m_1 Co = i$. Da man aber die Mitte der Luftblase in jeder der Stellungen der Libelle aus dem Stande ihrer Enden nach der Eintheilung bestimmen kann, so ist, wenn man für die erste Stellung der Libelle die Enden mit r und l, für die zweite mit r_1 und l_1 bezeichnet, in welchen beziehungsweise die Theilstriche Rechts und Links getroffen werden,

$$m = \tfrac{1}{2}(r - l) \quad , \quad m_1 = \tfrac{1}{2}(r_1 - l_1),$$

und daher
$$i = \frac{\frac{1}{2}(r - l) + \frac{1}{2}(r_1 - l_1)}{2},$$

oder
$$i = \frac{\frac{1}{2}(r + r_1) - \frac{1}{2}(l + l_1)}{2}.$$

Multipliciert man nun den Zahlenwerth für i mit dem nach §. 24 zu bestimmenden Werthe eines Libellentheils in Bogensekunden, so erhält man die Neigung der Linie $N N_1$ im Bogenmafs.

Man erhält daher mit einer selbst unberichtigten Röhrenlibelle die Neigung einer Geraden gegen den Horizont, wenn man sie in zwei entgegengesetzten Lagen auf dieselben Punkte der Geraden setze, das erste Mal die Zahlen r und l, das zweite Mal r_1 und l_1 abliest, von dem arithmetischen Mittel der Ablesung der rechten Seite das der linken Seite subtrahiert und den Rest durch 2 dividiert. Ist der Rest positiv, so ist das rechte Ende der Geraden höher, als das linke, niedriger dagegen, wenn der Unterschied negativ ist.

Es ist einleuchtend, dafs man durch dafselbe Verfahren auch den Neigungswinkel einer Ebene gegen den Horizont bestimmen kann, wenn man die Libelle nur an eine Gerade setzt, die den einen Schenkel des Neigungswinkels darstellt. Hierzu dient zweckmäfsig die in Fig. 11. dargestellte Libelle.

Insbesondere macht man von diesem Verfahren bei der Bestimmung der Neigung der Mefsstäbe, die zu einer Basismefsung angewandt werden, in der höheren Geodäsie Gebrauch.

Mittelst der in den Figg. 5, 6, 7 und 9 dargestellten Libellen wird man daher auch die Neigung der Umdrehungsachse eines Fernrohrs, und mittelst der in Fig. 8. dargestellten die Neigung eines Fernrohrs gegen den Horizont bestimmen können, wenn man im ersten Falle von der etwaigen Ungleichheit der Zapfen, im letzteren aber von der Ungleichheit der Ringe, auf welche die Libelle gesetzt ist, abstrahiert.

Selbstverständlich kann aber bei allen diesen Bestimmungen nur von sehr geringen Neigungen die Rede sein, weil zu denselben in beiden Lagen der Libelle die Ablesung beider Enden der Luftblase erforderlich ist.

Beispiel. An einem im Meridiane aufgestellten Universalinstrumente, wobei also die Libelle die Richtung von West nach Ost hat, daher auch für die obige Bezeichnung von r, r_1, l, l_1 zweckmäfsiger w, w_1, o, o_1 gewählt wird, war folgende Neigungsbestimmung gemacht:

bei Objectiv im Süden $w = 42{,}1 \,.\, o = 42{,}7$
$w_1 = 41{,}8 \,.\, o_1 = 42{,}8$

bei Objectiv im Norden $w = 41{,}8 \,.\, o = 42{,}8$
$w_1 = 41{,}9 \,.\, o_1 = 42{,}6.$

Hieraus findet sich dann $i = -0{,}4$ und $= -0{,}425$, also im Mittel $-0{,}4125$ Da nun nach §. 24. 1 Libellentheil $= 4{,}66$ Sekunden beträgt, so ist das westliche Zapfenlager um 1,92 Bogensekunden niedriger als das östliche.

§. 30.

Prüfung und Berichtigung der Röhrenlibelle.

1. Nur bei gröfseren Winkelmefsern, insbesondere solchen, die zu Zeit- oder Meridianbestimmungen dienen und daher kürzere oder längere Zeit eine feste Aufstellung haben, wird man die im vorigen Paragraph angegebene Bestimmung der Neigung der Unterlage der Libelle vorziehen, und den Einflufs der gefundenen Neigung bei den zu machenden Beobachtungen in Rechnung bringen. Bei kleineren Mefsapparaten wird dagegen gefordert, mittelst der Libelle bestimmte Theile derselben, z. B. die Umdrehungsachse des Fernrohrs, möglichst genau horizontal zu stellen, in welchem Falle aber vorher die angewandte Röhrenlibelle einer Prüfung und Berichtigung unterworfen werden mufs. Diese setzt aber immer die Möglichkeit einer Verstellung der Unterlage durch Schrauben und selbstverständlich auch eine Correctionsvorrichtung der Libelle voraus.

2. Wäre von der zu prüfenden Libelle nach §. 24. der Ausschlag mit völliger Schärfe ausgemittelt, so würde man nach dem vorigen Paragraph zuerst die Neigung der Unterlage, wofür hier immer die Zapfen der Umdrehungsachse des Fernrohrs gedacht werden mögen, bestimmen, dann durch den bekannten Winkelwerth eines Libellentheils jene Achse in die horizontale Lage und schliefslich durch Anwendung der Correctionsschrauben die Luftblase zum Einspielen, d. h. ihre Mitte auf den Nullpunkt der Theilung bringen können. Wird diefs Verfahren, wegen der unvermeidlichen Beobachtungsfehler, mehrere Male wiederholt, so wird die Libelle, bis auf den aus der etwaigen Ungleichheit der Zapfen entstehenden Fehler, berichtigt sein.

3. Es ergiebt sich aus dem vorigen Paragraph, dafs wenn eine Röhrenlibelle auf eine Unterlage, z. B. auf die Zapfen der Umdrehungsachse eines

Fernrohrs gesetzt und letztere durch Anwendung der Stellschrauben in eine solche Lage gebracht wird, dafs die Luftblase einspielt, also ihre Mitte in dem Nullpunkte der Theilung liegt und die Luftblase, ohne aber die Unterlage zu verändern, nach dem Umkehren der Libelle dieselbe Lage einnimmt, sowohl die Unterlage horizontal, als auch die Libelle richtig ist. Eben so folgt aus §. 29., dafs wenn bei den entgegengesetzten Stellungen der Libelle, die Mitten der Luftblase nicht in dem Nullpunkte der Theilung zusammenfallen, der Abstand derselben von einander dem doppelten Neigungswinkel der Unterlage gegen den Horizont gleich kommt. Behält man also die Bezeichnung des vorigen Paragr. bei, so ist der Abstand von $\frac{1}{2}(r-l)$ d. h. von 0 und, wenn $r_1 > r$ also $l_1 < l$ ist von $\frac{1}{2}(r_1 - l_1) = 2i$ oder, unter der Voraussetzung, dafs die Länge der Blase während des Umsetzens der Libelle sich nicht geändert hat, es ist $2i = r_1 - r$ oder, wenn $l_1 > l$, also $r_1 < r$ ist; $2i = l_1 - l$. Verbefsert man daher durch Anwendung der Stellschrauben die Unterlage um $\frac{1}{2}(r_1 - r)$ oder $\frac{1}{2}(l_1 - l)$, so ist die Unterlage horizontal und es bleibt dann die andere Hälfte noch an den Correctionsschrauben der Libelle für die verticale Bewegung zu verbefsern, so dafs dann die Enden der Luftblase, wenn $r_1 > r$ ist, $r + \frac{1}{2}(r_1 - r) = \frac{1}{2}(r + r_1)$ und $l - \frac{1}{2}(l - l_1) = \frac{1}{2}(l + l_1)$ und wenn $l_1 > l$ ist, $l + \frac{1}{2}(l_1 - l) = \frac{1}{2}(l + l_1)$ und $r - \frac{1}{2}(r - r_1) = \frac{1}{2}(r + r_1)$ werden. Kommt nach dem Umsetzen der Libelle die Luftblase ganz auf die eine Seite des Nullpunkts, so ist r_1 oder l_1 negativ zu nehmen. Bei diesen Verbefserungen ist es besonders wichtig, die Wirkung der Schrauben bei ihrem Anziehen oder Lösen nach den §§. 14, 15 und 27 genau ins Auge zu fafsen.

Es bedarf keiner besonderen Erwähnung, dafs diefs Verfahren so lange zu wiederholen ist, bis die Mitte der Blase in beiden Stellungen der Libelle in den Nullpunkt der Theilung fällt.

4. Bei den Setz- und Hängelibellen mufs man sich nun schliefslich noch überzeugen, ob die Achse der Libelle, die nach dem Vorhergehenden in eine mit der Achse der Unterlage parallele Ebene gebracht wurde, mit letzterer Achse auch seitlich keinen Winkel bildet. Bewegt man nämlich die Libelle ein wenig um die erwähnte Achse der Unterlage und geht die Luftblase nicht aus ihrer Stellung, so ist auch in dieser Hinsicht die Libelle richtig. Dreht aber der Beobachter die Libelle nach sich herüber und weicht dann die Luftblase nach Links aus, so ist das linke Ende der Röhre von dem Beobachter zu weit entfernt und daher die Röhre mittelst der Correctionsschrauben für die horizontale Bewegung so weit zu verstellen, dafs sich die Blase dem Beobachter wieder nähert. (Vgl. §. 27.)

§. 31.

Prüfung und Berichtigung der Dosenlibelle.

Stellt man die Dosenlibelle auf eine beiläufig horizontalgestellte Ebene, z. B. auf eine Mefstischplatte und bringt mittelst der Stellschrauben die Luftblase zum

Einspielen, so darf bei Umdrehung der Libelle in dem Kreise, den man um den Fufs oder durch die Enden der drei Stellschrauben (§. 28.) derselben gezogen hat, die Luftblase ihren Stand nicht ändern. Ist diefs aber der Fall, so mufs bei Libellen, welche keine Stellschrauben zur Correction enthalten, die Stelle des Fufses, nach welcher die Blase hinspielt, soweit abgeschliffen werden, bis jene Abweichung verschwunden ist. Bei Libellen, welche die erwähnten Correctionsschrauben enthalten, wird an diesen die Berichtigung vorgenommen.

Bei der in Fig. 14. dargestellten Libelle kann die Prüfung noch leichter durch die Drehung der Glasröhre um ihre Achse geschehen, die Berichtigung aber auf die obige Art erfolgen.

Einflufs der Ungleichheit der Durchmefser der Zapfen oder der Ringe des Fernrohrs, auf die Bestimmung der Neigung der Umdrehungsachse oder des Fernrohrs mittelst der Röhrenlibelle.

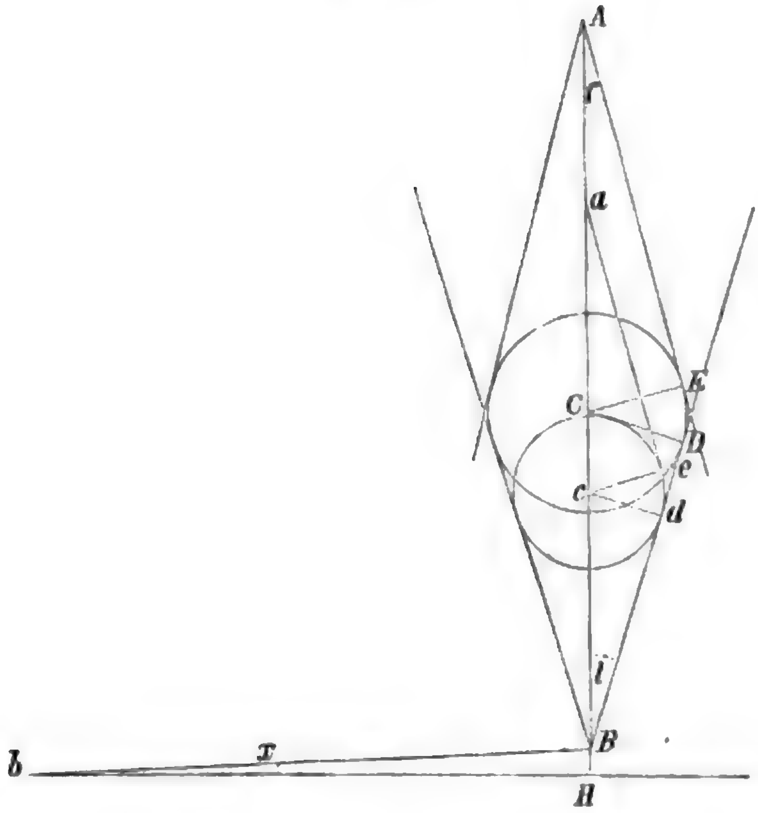
§. 32.

Die in den §§. 29 und 30 angegebenen Regeln für die Bestimmung der Neigung einer Linie oder Ebene und über die Prüfung und Berichtigung der Röhrenlibelle gelten selbstverständlich nur unter der Voraussetzung, dafs bei den Umdrehungsachsen die beiden Zapfen, bei dem um seine Achse drehbaren Fernrohre aber die beiden Ringe desselben, auf welche die Füfse der Libelle zu stehen kommen, gleichen Durchmefser haben. Verbindet man nämlich die beiden Punkte eines jeden Zapfens (welche im Nachfolgenden nur berücksichtigt werden mögen, da die Untersuchungen für die Fernrohrringe die nämlichen sind), in welchen der Fufs der Libelle den Zapfen berührt, durch Sehnen, so bezieht sich die Berichtigung der geometrischen Achse derselben mittelst der Libelle eigentlich auf eine Gerade, welche die beiden Sehnen halbiert. Diese wird aber offenbar nur dann der Umdrehungsachse der Zapfen parallel sein, wie es verlangt werden mufs, wenn die erwähnten Sehnen einander gleich und die Winkel, welche die inneren Ausschnitte mit einander bilden, nicht nur einander gleich, sondern auch parallel sind. Obgleich nun durch das Umsetzen der Libelle die etwaigen letzten Ungleichheiten eliminiert oder unschädlich gemacht werden können, so ist diefs bei der Ungleichheit der Durchmefser der Zapfen nicht der Fall, daher ihr Einflufs in dem folgenden Paragraph näher untersucht werden soll.

§. 33.

Man denke sich das Instrument im Meridiane aufgestellt, wodurch also, nach Süden gesehen, der rechtsliegende Zapfen der westliche, der andere der

Fig. 17.



östliche ist. Es sei der Zapfen des westlichen Lagers der dickere; C in Fig. 17. sei sein Mittelpunkt, CD sein Halbmesser $= R$. Für den dünneren Zapfen des östlichen Lagers sei c der Mittelpunkt und $cd = r$ sein Halbmesser. E und e seien die Berührungspunkte der auf die Zapfen gesetzten Libelle, $EAC = eac = f$, $CBD = cBd = l$ und die Erhöhung des westlichen Zapfenlagers über dem östlichen, in Theilen der Libelle ausgedrückt, oder $BbH = x$.

In den Dreiecken ACE und BCD ist nun an dem westlichen Ende der Achse

$$AC = \frac{R}{\sin f}, \quad BC = \frac{R}{\sin l},$$

also

$$AB = R\left(\frac{\sin f + \sin l}{\sin f \sin l}\right).$$

Ebenso ist an dem östlichen Ende der Achse

$$ab = r\left(\frac{\sin f + \sin l}{\sin f \sin l}\right).$$

Hätten nun die beiden Zapfen gleichen Durchmesser, so würde die nach §. 29. durch die Libelle gefundene Neigung i der Achse der Gröfse x entsprechen. Sind aber die Durchmesser ungleich, und liegt der dickere Zapfen in dem westlichen Lager, so ist, wenn der Abstand der Libellenfüfse von einander, (welcher dem der Zapfenlager fast immer gleich ist und daher auch hier gleich genommen werden soll) $= L$ gesetzt wird, die Neigung der Achse

$$i = x + \frac{R-r}{L}\left(\frac{\sin f + \sin l}{\sin f \sin l}\right).$$

Wird nun die Umdrehungsachse in ihren Zapfenlagern umgelegt, so dafs der östliche Zapfen in das westliche Lager und der westliche Zapfen in das östliche Lager kommt, so ist die Neigung der Achse

$$i_1 = -x + \frac{R-r}{L}\left(\frac{\sin f + \sin l}{\sin f \sin l}\right),$$

folglich

$$\tfrac{1}{2}(i+i_1) = \frac{R-r}{L} \times 206265 \left(\frac{\sin f + \sin l}{\sin f \sin l}\right), \quad *)$$

und demnach

$$R-r = \frac{L.\tfrac{1}{2}(i+i_1)}{206265}\left(\frac{\sin f \sin l}{\sin f + \sin l}\right),$$

eine Gröfse, die so lange constant bleiben wird, als die Dicke der Zapfen sich nicht ändert.

Da nun aber die Neigung der mathematischen Achse der beiden Zapfen gefunden werden soll, so ist von dem Werthe für i, wobei der dickere Zapfen in dem westlichen Lager sich befand, eine Gröfse abzuziehen, die aus der Ungleichheit der Durchmefser der Zapfen, in Bezug auf die Länge und den Winkel der Füfse der Libelle entspringt, nämlich $\frac{R-r}{L}$ cosec f, oder, wenn man für $R-r$ den obigen Werth substituiert

$$\tfrac{1}{2}\, i + i_1)\ \frac{\sin l}{\sin f + \sin l},$$

so lange nämlich der dickere Zapfen in dem westlichen Lager bleibt.

Wäre demnach vor der Umlegung der Umdrehungsachse der dickere Zapfen in dem östlichen Lager, so würde die letztere Gröfse zu i so lange zuzusetzen sein, als der dickere Zapfen in dem östlichen Lager bleibt.

Ist ferner $f = l$, so ist beziehungsweise der ab- oder zuzusetzende Werth

$$\tfrac{1}{2}(i+i_1)\frac{\sin l}{2 \sin l} = \tfrac{1}{4}(i+i_1).$$

Beispiel. An dem im Meridiane aufgestellten Meyersteinschen Durchgangsinstrumente wurden folgende Beobachtungen gemacht:

*) Da der Kreisumfang 360.60.60 = 1296000 Sekunden, in Theilen des Halbmefsers aber $= 2\pi = 6{,}2831853$ und $\frac{1296000}{6.2831853} = 206264{,}8$ (wofür immer 206265 genommen werden mag) ist, so müfsen Gröfsen, die in Theilen des Halbmefsers ausgedrückt sind, und in das Bogenmafs verwandelt werden sollen, mit 206265 multipliciert, dagegen durch diese Zahl dividiert werden, wenn man im Bogenmafs ausgedrückte Gröfsen in Theilen des Halbmefsers darstellen will.

Lage des Höhenkreises	Lage des Objectivs	Luftblase w, w_1	Luftblase o, o_1	Höhe des westlichen Zapfens i u. i_1	Mittel
W	S	42,1 41,8	42,7 42,8	— 0,4	— 0,4125
	N	41,8 41,9	42,8 42,6	— 0,425	$= i$
O	S	34,7 35,0	49,8 49,0	— 7,275	— 7,175
	N	35,6 34,1	48,1 49,9	— 7,075	$= i_1$
W	S	41,1 41,8	42,9 41,8	— 0,45	— 0,25
	N	41,9 41,7	41,9 42,0	— 0,05	$= i$
O	S	34,1 35,7	49,6 47,8	— 6,95	— 6,9
	N	36,2 33,4	46,9 49,9	— 6,85	$= i_1$
W	S	43,5 42,9	42,8 42,8	+ 0,2	+ 0,15
	N	42,7 42,9	42,7 42,5	+ 0,1	$= i$
O	S	35,0 35,8	48,5 47,7	— 6,35	— 6,9625
	N	34,3 34,2	49,7 49,1	— 7,575	$= i_1$
W	S	40,2 42,6	42,6 40,7	— 0,125	+ 0,0125
	N	40,2 42,8	42,3 40,1	+ 0,15	$= i$
O	S	31,0 35,0	52,1 47,5	— 3,4	— 4,3125
	N	36,3 35,7	46,1 46,8	— 5,225	$= i_1$

Hieraus ergiebt sich demnach $\frac{1}{2}(i + i_1)$ im Mittel 1,6156 in Libellentheilen oder 7,529 Sekunden. (§. 24.)

Nun ist an dem obigen Apparate $f = 44^0 40'$, $l = 46^0 15'$ woraus dann folgt

$$\frac{\sin l}{\sin f + \sin l} = 0{,}5068.$$

Da nun aus der obigen Tabelle sich ergiebt, daſs der an dem Kreisende befindliche Zapfen den gröſseren Durchmeſser hat, so wird, wenn derselbe im westlichen Lager sich befindet, von jeder ausgemittelten Neigung der Rotationsachse des Fernrohrs das Product derselben in 0,5068 abzuziehen sein, um die eigentliche Neigung der Achse in Libellentheilen, und aus ihrer Multiplication mit 4,66 Sekunden (§. 24.) in Bogentheilen zu erhalten. Nach dem Vorhergehenden ist nun $\frac{1}{2}(i + i_1) = 7{,}529$ Sekunden, daher war zur Zeit der Beobachtung der westliche Zapfen (am Kreisende) um $7{,}529 - 7{,}529 \,.\, 0{,}5068 = 3{,}713$ Bogensekunden tiefer, als der östliche Zapfen.

Da ferner $L = 430$ Millimeter ist, so findet sich der Zahlenwerth für $R - r$ durch folgende Berechnung:

$$\begin{array}{rll} \log. & \frac{\sin f \sin l}{\sin f + \sin l} & = 0{,}55179 - 1 \\ „ & L & = 2{,}63347 \\ „ & \frac{1}{2}(i + i_1) & = 0{,}20833 \\ \text{comp. } „ & 206265 & = 0{,}68557 - 6. \\ \hline & \text{Log. } R - r & = 0{,}07916 - 3 \\ & R - r & = 0{,}001939 \text{ Millimeter.} \end{array}$$

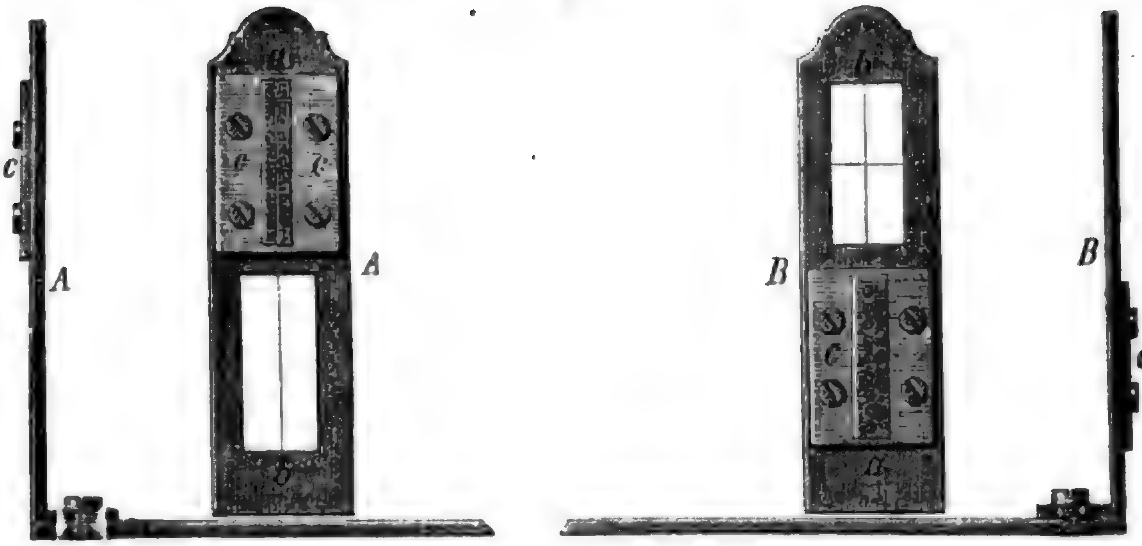
IV. Die Visier- und dioptrischen Vorrichtungen zum Ablesen der eingetheilten Kreisränder.

A. Die Dioptern oder Absehen.

§. 34.

Sie dienen, wie schon im §. 4. bemerkt wurde, zum Visieren nach den Winkelobjecten, um dadurch die Lage der Winkelschenkel auf dem Winkelmeſser fixieren zu können. Sie bestehen aus zwei Metallplatten A und B in Fig. 18., von denen die eine einen schmalen, scharfkantigen verticalen Einschnitt a oder, in einer Verticallinie unter einander liegende kleine Löcher zum Durchsehen, die andere einen gröſseren Verticaleinschnitt b enthält, dessen Mittelverticallinie durch ein straff ausgespanntes Haar, oder einen feinen Metallfaden, oder auch durch einen auf eine dünne Glasplatte eingeätzten oder eingeschnittenen feinen Strich bezeichnet, während die Glasplatte in dem Metallrahmen befestigt ist.

Fig. 18.



Das erstere nennt man das Ocular-, das letztere Objectivdiopter. Um rückwärts visieren zu können, bringt man, wie diefs Fig. 18. zeigt, auf jeder Platte ein Objectiv- und Oculardiopter vertical unter einander an. Die Dioptern sind mittelst Schrauben auf einem Lineale, der Alhidadenregel (§. 4.) u. s. w. befestigt. An den unteren Enden sitzen auch wohl Charniere zum Auf- und Niederlegen und bequemeren Transporte.

Um damit auch nach Objecten visieren zu können, die über oder unter dem Horizont des Standpunkts liegen, trägt die Fufsplatte seitlich eine Drehungsachse, die in einer an einer Verticalsäule angebrachten Büchse ein Auf- und Niederbewegen des Diopterlineals gestattet.

Abgesehen davon, dafs das Visieren nach den Objecten die gleichzeitige Betrachtung eines nahen Gegenstandes, des Verticalfadens, so wie des entfernteren Objects erfordert, was den Gesetzen des deutlichen Sehens aber widerspricht, haben die Dioptern noch den anderen grofsen Mangel, dafs sie für sehr entfernte Objecte, die von dem Auge nicht mehr deutlich erkannt werden können, und daher um so mehr für Kurzsichtige, ganz unbrauchbar sind. Man bedient sich deshalb ihrer nur bei kleineren Mefsapparaten, z. B den Winkelkreuzen, der Quecksilberwage und anderen kleineren Nivellierwerkzeugen.

§. 35.
Prüfung und Berichtigung der Dioptern.

Man stelle die Unterlage derselben horizontal, visiere auf die verticale Kante eines Hauses oder auf eine andere Linie, die man als vertical annehmen kann und untersuche für die verschiedenen Visierlöcher oder unter einander liegenden Stellen des verticalen Schlitzes des Oculardiopters, ob der Faden des Objectivdiopters in allen Punkten die Verticallinie deckt. Zeigt sich für dafselbe Visierloch eine Abweichung, so ist der Faden nicht vertical. Findet sich aber eine

Abweichung für andere Visierlöcher oder andere Stellen des Schlitzes, so liegen diese nicht in einer Verticallinie. Zu ihrer Berichtigung hat man den feinen Schlitz des Oculars oder die Visierlöcher auf einer eigenen Platte *c* angebracht, welche durch das Lüften der Zugschrauben eine geringe Verschiebung gestattet, wonach dann die Schrauben wieder angezogen werden.

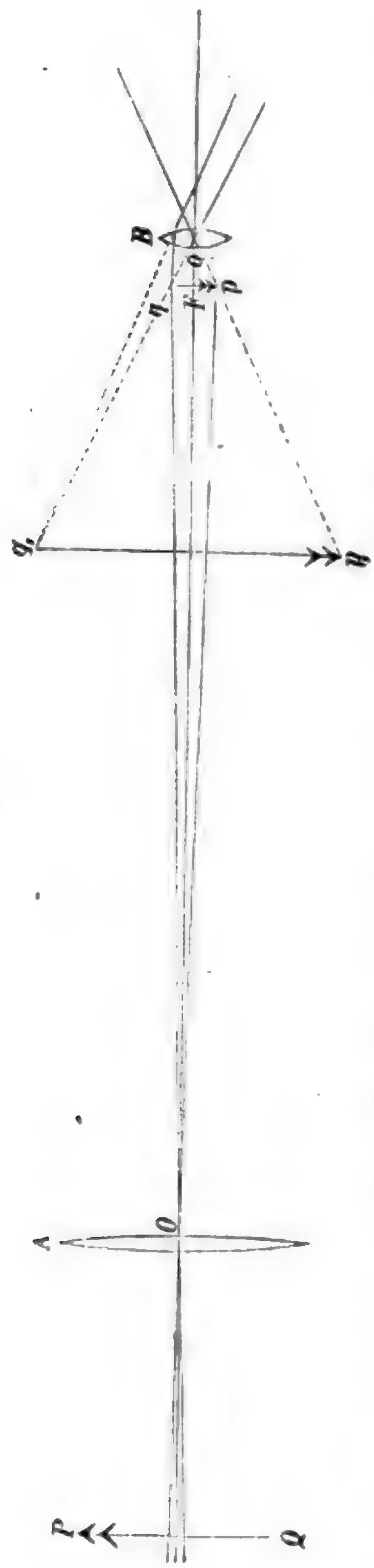


Fig. 19.

B. Das Fernrohr.

A. Allgemeine Bemerkungen über die Einrichtung des Fernrohrs.

§. 36.

Nach den Gesetzen der Brechung des Lichts in Convexlinsen erzeugen die von einem Gegenstande PQ (Fig. 19.) auf eine Convexlinse A fallenden Lichtstrahlen entweder ein physisches oder ein virtuelles (geometrisches) Bild des Gegenstandes. Bei einem entfernten Gegenstande, wie er bei einem Fernrohre nur in Betracht kommt, liegt das immer umgekehrte Bild qp in geringerer oder gröfserer Entfernung hinter dem hinteren Brennpunkte F der Linse, und ist stets ein physisches. Wird dafselbe nun von einer zweiten Convexlinse B, deren Achse mit der der ersteren in einer Geraden liegt, oder von einer passenden Verbindung von mehreren derselben aufgefangen, und giebt man der Linse B eine solche Stellung, dafs das umgekehrte physische Bild qp innerhalb der vorderen Brennweite der Linse B zu liegen kommt, so vertritt qp für die zweite Linse die Stelle eines Objects, so dafs nunmehr das hinter B in der richtigen Stellung befindliche Auge nicht den Gegenstand PQ selbst, sondern von ihm ein vergröfsertes und daher unter einem gröfseren Sehwinkel $q_1 o p_1$ erscheinendes, ebenfalls umgekehrtes, aber virtuelles Bild $q_1 p_1$ wahrnimmt. Die Zahl, welche für den Winkel $q_1 o p_1$ das Vielfache des Winkels $q O p$, unter

welchem der Gegenstand dem freien Auge erscheint, ausdrückt, heifst die Vergröfserungszahl oder die Vergröfserung des Fernrohrs.

Aus dem Vorhergehenden ergiebt sich die Möglichkeit und Wirkung des Fernrohrs oder Teleskops*), einer festen Röhre, in welcher die Linsengläser in geeigneter Stellung so befestigt sind, dafs ihre Achsen in einer Geraden liegen, welche die optische Achse des Fernrohrs genannt wird. Von den Gläsern sagt man dann, sie seien centriert. Darin aber, dafs das physische Bild qp, obgleich sehr klein und kleiner als der Gegenstand PQ, dem Auge doch unter einem gröfseren Sehwinkel erscheint, als jener ohne Fernrohr mit freiem Auge erscheinen würde, liegt der erste wesentliche Vortheil eines Fernrohrs bei der Betrachtung entfernter Gegenstände, den die Dioptern nie gewähren können.

Die Glaslinse, auf welche von dem Gegenstande die Lichtstrahlen fallen, heifst das Objectivglas oder Objectiv; die Linse, oder die Verbindung mehrerer derselben, die das vergröfserte Bild giebt, das Ocular, im ersten Falle einfach, im anderen zusammengesetzt.

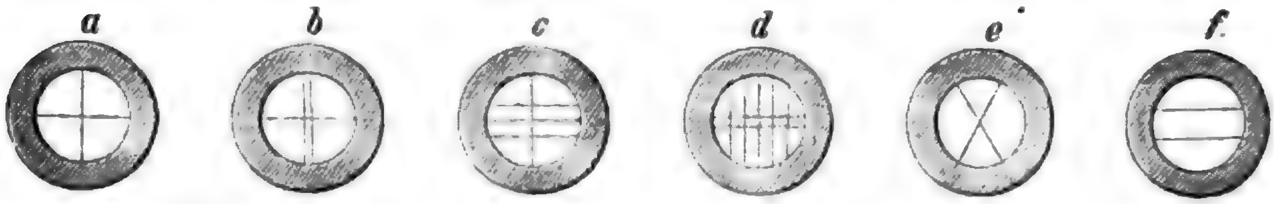
§. 37.

Das Fadenkreuz des Fernrohrs.

Das Fernrohr hat aber bei den geometrischen Werkzeugen nicht allein den Zweck, die entfernten Gegenstände unter einem gröfseren Sehwinkel, als ihn das unbewaffnete Auge giebt, erscheinen zu lafsen, sondern es soll auch zum Visieren nach natürlichen oder künstlichen Signalen, Richtobjecten, dienen, um dadurch die Gröfse eines Winkels bestimmen zu können. Deshalb ist an dem Orte, wo sich das physische Bild des Objectivs befindet, ein meistens aus 2 aufeinander normal stehenden Spinnenfäden bestehendes Kreuz, Fadenkreuz, auf einem kreisförmig ausgebohrten Metallringe, wohl die Ocularblendung genannt, ausgespannt, dessen Durchschnittspunkt ebenfalls in die optische Achse des Fernrohrs fallen mufs, die dann auch die Collimationslinie des Fernrohrs genannt wird. Die weitere Einrichtung des erwähnten Ringes wird später (§. 46.) angegeben und es mag nur noch bemerkt werden, dafs das Fadenkreuz in einzelnen Fällen auch zu mefsenden Beobachtungen dient.

In Fernröhren für Mefstische, Boussolen, Nivellierinstrumente und kleinere Theodolithe, so wie in kleineren Hülfsfernröhren hat das Fadenkreuz die oben bemerkte Gestalt, wie *a* in Fig. 20. zeigt. Bei gröfseren Theodolithen hat

Fig. 20.



*) Von τῆλε fern und σκοπεῖν betrachten.

dafselbe die Gestalt *b*, indem man zwischen die beiden, von der Mitte gleich weit abstehenden Verticalfäden das Richtobject bringt. Das Fadenkreuz des distanzmefsenden Fernrohrs hat die Gestalt *c*. Die beiden äufseren Horizontalfäden, die gleichen Abstand von dem mittleren haben, sind entweder unabänderlich befestigt, oder mittelst kleiner Schräubchen verstellbar. Zu Sternbeobachtungen dient das Fadenkreuz *d*, welches auch wohl, obgleich unzweckmäfsig, Fadenmikrometer genannt wird; bei ihm haben die von dem mittleren Verticalfaden in gleicher Anzahl vorhandenen Verticalfäden möglichst gleichen Abstand; Statt des einen Horizontalfadens finden sich 2 nahe zusammenliegende, zwischen welchen der durch das Fernrohr gehende Stern beobachtet wird. Das Fadenkreuz, welches zu mefsenden Beobachtungen dienen soll, hat die Gestalt eines s. g. Andreaskreuzes, *e* und das bei Spiegelinstrumenten angewandte endlich besteht aus 2 in gröfserem Abstande von einander befindlichen Horizontalfäden, wie *f* zeigt.

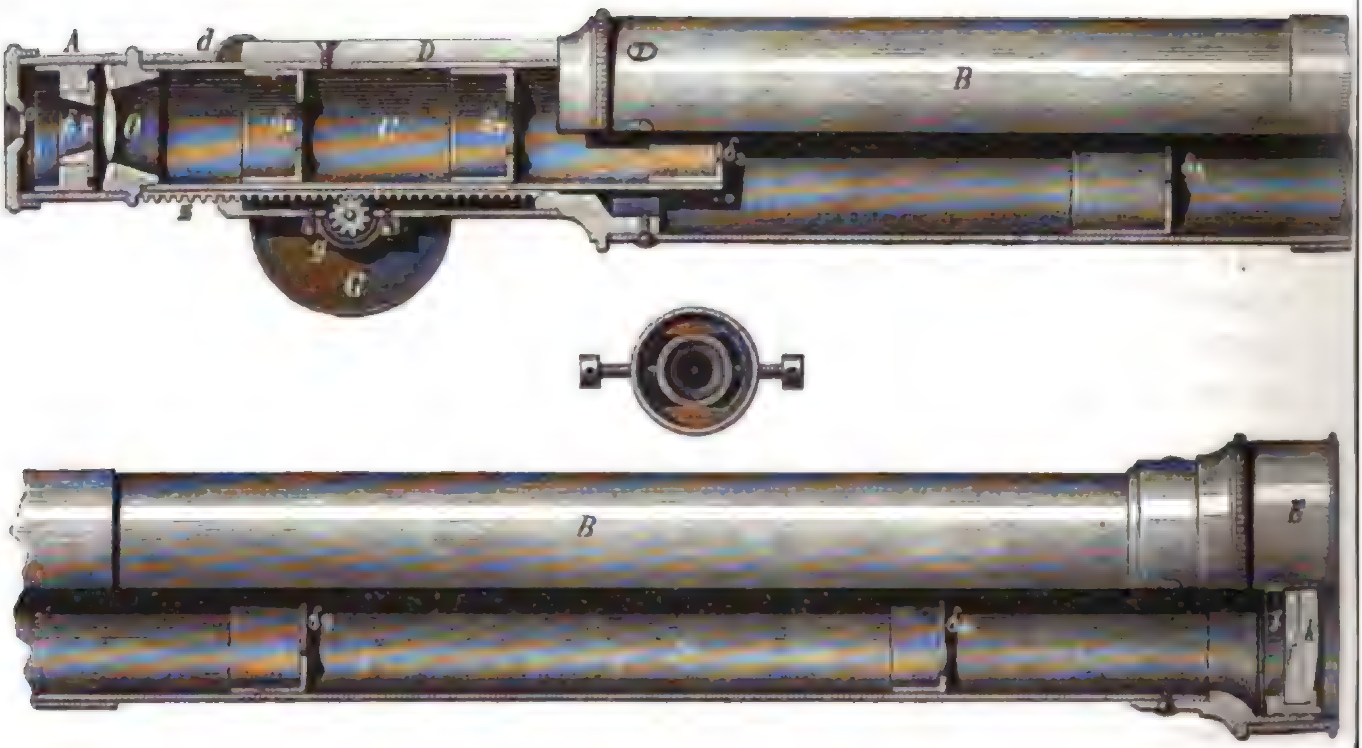
Die Oeffnung der vorhin erwähnten Ocularblendung begränzt auch den kreisförmigen Raum, den man durch das Fernrohr auf einmal übersehen kann und den man das Gesichtsfeld oder Feld des Fernrohrs nennt.

§. 38.

Damit das Fernrohr auch von Objecten, die in sehr verschiedenen Entfernungen sich finden, gleich deutliche Bilder liefern kann, nach den Gesetzen der Brechung des Lichts aber das physische Bild des Objectivs von dem (hinteren) Brennpunkte desselben sich entfernt, wenn das Object der Objectivlinse sich nähert, und umgekehrt, so mufs schon aus diesem Grunde, äufserdem aber auch wegen der verschiedenen Beschaffenheit der Augen, damit das durch das Ocular betrachtete virtuelle Bild in die Sehweite jedes Auges gebracht werden kann, der Ort des Bildes gegen das Objectiv verstellt werden können. Deshalb befindet sich das Objectiv und Ocular, jedes für sich, in einer eigenen Röhre, von welchen die Ocularröhre *A* in Fig. 21., als von kleinerem Durchmefser, meistens in dem Objectivrohre *B* verschoben werden kann. In diesem Falle ist die das Ocular und den Ring des Fadenkreuzes enthaltende Röhre mittelst eines Schraubengewindes mit einer längeren Röhre *C* von etwas geringerem Durchmefser verbunden und gestattet theils durch in das Objectivrohr eingelegte dickere Ringe, theils durch eine darin befestigte Feder eine sichere und sanfte Bewegung. Beide Röhren zusammen nennt man auch wohl den Auszug des Fernrohrs.

Die Röhre *C* enthält auf ihrer oberen äufseren Fläche noch ein aufgeschraubtes Parallelepipedum *D*, das, gewöhnlich aus Stahl verfertigt und daher wohl Stahlrücken genannt, in einen Einschnitt des Objectivrohrs *B* mit Spielraum tritt, eine geringe Drehung des Auszuges um seine Achse, und durch eine oder zweckmäfsiger zwei einander gegenüberstehende Druckschrauben *d*, welche in dem Objectivrohre ihre Muttern haben, eine Feststellung gestattet. Die

Fig. 21.



Bewegung des Auszuges geschieht bei Fernröhren der gröfseren Mefsapparate, besonders solchen, die vorzugsweise zu astronomischen Beobachtungen dienen sollen, aus freier Hand; für terrestrische Mefsungen dagegen wird häufig und auch nicht ganz unzweckmäfsig ein Getriebe *g* mit einer Zahnstange *z* angewandt; der zur Bewegung nothwendige Getriebekopf *G* ist an der Objectivröhre mittelst einer Platte und Schräubchen befestigt,

In einzelnen Fällen ist die Ocularröhre nicht verschiebbar. Dann ist die Fafsung des Objectivs mit einer eigenen Röhre verbunden, die sich mittelst eines Getriebes mit Zahnstange in dem äufseren Objectivrohr etwas aus- und einschieben läfst.

B. Das astronomische oder Keplersche Fernrohr.

§. 39.

Das einfachste aller Fernröhre ist das astronomische Fernrohr (befser das Keplersche genannt), welches aufser der convexen Objectivlinse nur noch eine convexe Ocularlinse enthält. Die Entfernung beider Gläser von einander ist höchstens der Summe ihrer Brennweiten gleich. Man wendet es jetzt nur noch bei den stärksten Vergröfserungen an, soll aber bei den nächstfolgenden Betrachtungen, da es dieselben vereinfacht, zum Grunde gelegt werden.

Wenn nun das Ideal des Fernrohrs, bei möglichst starker Vergröfserung und einem grofsen Gesichtsfelde eine möglichste Deutlichkeit und Lichtstärke des zu betrachtenden Bildes in der Art fordert, dafs letzteres nicht blofs in der Mitte,

sondern auch in der ganzen Fläche des Feldes in gleicher Reinheit und ohne Verzerrung wahrgenommen werden kann: so wird sich zeigen, dafs das Keplersche Fernrohr diese Forderungen nicht zu erfüllen im Stande ist, leider auch einzelne der erwähnten Eigenschaften nur auf Unkosten der anderen erhöht werden können.

§. 40.

Die Vergröfserung des Fernrohrs. Nach §. 36. ist, wenn dieselbe $= v$ gesetzt wird und o und O in Fig. 19. (S. 39.) die optischen Mittelpunkte der beiden Linsen bezeichnen, auch angenommen werden kann, dafs das physische Bild qp in dem gemeinschaftlichen Brennpunkte F des Objectivs und Oculars sich findet,

$$v = \frac{qop}{qOp} = \frac{qoF}{qOF};$$

da aber

$$tg\, qoF = \frac{qF}{oF}, \quad tg\, qOF = \frac{qF}{OF},$$

die beiden Winkel aber immer nur sehr klein sind, also ihren Tangenten proportional gesetzt werden können, so ist

$$v = \frac{OF}{oF} = \frac{B}{b}$$

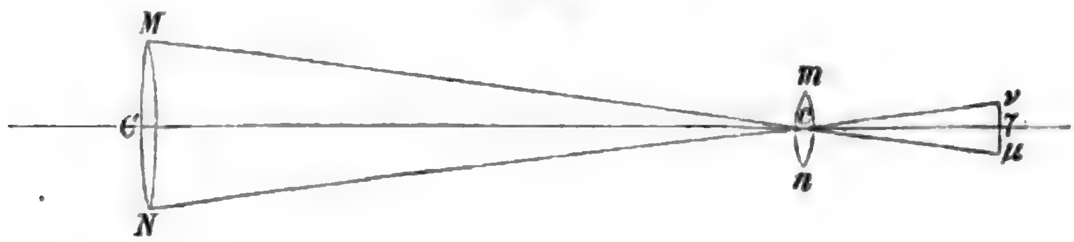
oder: die Vergröfserung eines Fernrohrs ist gleich dem Quotienten aus der Brennweite b des Oculars in die, B, des Objectivs. Obgleich sie daher bei demselben Objectiv um so beträchtlicher sein würde, je kleiner die Brennweite des Oculars genommen wird, so darf sie doch eine bestimmte Gränze nicht überschreiten, da sonst, wie später sich ergeben wird, das Gesichtsfeld zu klein werden würde.

§. 41.

Praktische Methoden zur Bestimmung der Vergröfserung.

1. Man stelle das Ocular des Fernrohrs so ein, dafs ein sehr entfernter Gegenstand, wozu man am zweckmäfsigsten einen Stern nimmt, deutlich erscheint und richte das Objectiv gegen das helle Tageslicht, so wird sich hinter dem Oculare ein kleiner heller Kreis bilden, welcher das Bild der Objectivöffnung ist. Mifst man mittelst eines Glasmikrometers den Durchmefser d dieses Bildes, so ist, wenn D den Durchmefser des Objectivs bezeichnet, $v = \frac{D}{d}$. Denn stellt in Fig. 22.

Fig 22.



MCN das Objectiv, *mcn* das Ocular, $\nu\gamma\mu$ den Durchmefser des Lichtkreises vor, ist ferner *B* die Brennweite des Objectivs, *b* des Oculars und δ der Abstand des erwähnten Bildes von dem Ocular, so ist nach den Gesetzen der Brechung für diese Linse, indem $Cc = B + b$ ist

$$\frac{1}{\delta} = \frac{1}{b} - \frac{1}{B+b} = \frac{B}{(B+b)\,b}.$$

Da aber $$\frac{MN}{\mu\nu} = \frac{Cc}{c\gamma} = \frac{B+b}{\delta} = \frac{B}{b},$$

wenn man für δ den Werth $\frac{(B+b)\,b}{B}$ substituirt, nach §. 40 aber $v = \frac{B}{b}$ war, so ist auch $v = \frac{D}{d}$.

2. Für Fernröhre mit nur mäfsiger Vergröfserung findet man letztere, wenn man ein solches Fernrohr auf eine in Felder eingetheilte Ebene, z. B. auf die Ziegelsteine eines Dachs oder die gebrannten Mauersteine einer Mauer richtet, mit dem einen Auge durch das Fernrohr, mit dem andern aber auf die Mauer sieht. Dann erblickt man das vergröfserte Bild eines der Steine vor dem schwebend, der mit dem freien Auge in seiner natürlichen Gröfse betrachtet wird. Zählt man dann, wie viel Steine von dem vergröfserten Bilde des einen Steins gedeckt werden, so ist die erhaltene Zahl die gesuchte Vergröfserung. Indessen setzt diese Methode ein gleich gutes Sehen mit beiden Augen voraus.

3. Eine andere, von Gaufs angegebene Methode beruht darauf, dafs wenn man in das Objectiv eines Fernrohrs sieht, das Bild eines Gegenstandes im Fernrohr um eben so viel Mal verkleinert erscheint, als das Fernrohr den Gegenstand vergröfsert darstellt. Man richtet nun das Fernrohr auf einen Gegenstand, dafs man 2 Theile desselben, z. B. die Breite eines Fensters oder dergleichen, in der Mitte des Gesichtsfeldes wahrnimmt. Mifst man nun mit einem Theodolith, dessen optische Fernrohrachse mit der des zu untersuchenden nahezu in eine Gerade fällt, den Winkel *a* dieses Bildes im Fernrohr und zugleich den Winkel *A* des Objects, so ist, wenn die Winkel hinlänglich klein sind,

$$v = \frac{A}{a}.$$

§. 42.

Das Gesichtsfeld des Fernrohrs.

Nach §. 37. versteht man darunter den Raum, welchen man durch das Fernrohr auf einmal übersehen kann. Die Gröfse desselben hängt von dem Winkel φ ab, dessen Scheitel in der Mitte des Objectivs liegt und dessen Schenkel nach den Rändern der freien Oeffnung der Ocularblendung gehen. Stellt in **Fig. 10.** (s. Seite 39) *qp* den Durchmefser *d* dieser Oeffnung in dem hintern Brennpunkte des Objectivs, dessen Brennweite = *B* ist, vor, so ist

$$\varphi : 360^0 = d : 2 B \pi,$$

woraus man in Minuten erhält

$$\varphi = \frac{d}{B} \, 3437{,}7.$$

Für $d = 1^{mm}$, $B = 120^{mm}$ ist also $\varphi = 28{,}6$ Minuten.

Will man das Gesichtsfeld auf die Ocularlinse beziehen, berücksichtigt dabei aber, dafs das auf das Ocular fallende gebrochene Licht nicht auf die ganze Oberfläche, sondern nur auf einen Kreis derselben fallen darf, dessen Durch-

Fig. 23.



mefser etwa 0,6 der Brennweite des Glases beträgt und stellt dann in Fig. 23. $\alpha\gamma$ den Halbmefser des Kreises vor, so ist, wenn $\alpha O \beta = \varphi$ ist

$$tg \tfrac{1}{2} \varphi = \frac{\alpha\gamma}{B + b},$$

wofür in den meisten Fällen

$$\varphi = \frac{\alpha\beta \, . \, 3437{,}7}{B + b} \text{ Minuten}$$

gesetzt werden kann, so dafs also die Gröfse des Gesichtsfeldes bei einem bestimmten Fernrohr nur von der Gröfse seines Oculars und von seiner Entfernung vom Objectiv abhängt.

Da nun nach §. 40. $v = \frac{B}{b}$, also $B = b \, . \, v$ ist, so erhält man für φ in Minuten den Ausdruck $\frac{0{,}6 \, . \, b}{b\,(1 + v)} \, . \, 3437{,}7 = \frac{2062{,}6}{v + 1}$. Je stärker daher die Vergröfserung eines Fernrohrs ist, um so kleiner wird das Gesichtsfeld desselben sein.

Man kann die Gröfse des Gesichtsfeldes für ein bestimmtes Fernrohr annähernd bestimmen, wenn man dasselbe auf die Sonne oder den Mond richtet, welche bekanntlich beide einen scheinbaren Durchmefser von etwa 32 Minuten haben und denselben mit dem Durchmefser des Feldes vergleicht. Ein genaues Resultat erhält man durch eine Reihe astronomischer Beobachtungen, indem man bei unverändertem Stande des Fernrohrs die Zeit beobachtet, welche ein Aequatorstern, wozu sich wegen seiner Helligkeit und Lage am besten δ Orionis eignet, gebraucht, um den Horizontalfaden des Fadenkreuzes zu durchlaufen. Betrüge diese Zeit daher 2^m, so würde das Gesichtsfeld einen Durchmefser von 30

Minuten haben. Auch kann dazu jeder andere Stern dienen, wenn dessen Declination bekannt ist, da für ihn dann leicht der Bogen berechnet werden kann, welchen er in einer gegebenen Zeit durchläuft.

§. 43.
Die Deutlichkeit und Helligkeit des Bildes des Objectivs, der Ort des Auges und die Lichtstärke des Fernrohrs.

Damit aber der Zweck des Fernrohrs, mag es mit einem geometrischen Werkzeuge verbunden sein, oder nicht, möglichst vollständig erreicht wird, mufs nicht nur das von dem Objective erzeugte physische Bild an sich, sondern auch das durch das Ocular hervorgebrachte virtuelle, von dem Auge wahrgenommene Bild, aufser der Vergröfserung die nämlichen Bedingungen erfüllen, welche an die auf der Retina des Auges hervorgebrachten Bilder gestellt werden, nämlich eine möglichste Deutlichkeit und Helligkeit besitzen.

1. Unter Deutlichkeit des Bildes versteht man die Schärfe, mit der sich jeder Punkt desselben zeigt. Das Bild des Objectivs wird dann den höchsten Grad der Deutlickheit haben, wenn jeder Punkt des Objects auch einen Punkt im Bilde erzeugt. Diefs kann aber nur dann geschehen, wenn das Bild ganz frei von der chromatischen und sphärischen Aberration ist. Die erstere wird dadurch gehoben, dafs man mit der biconvexen Glaslinse von Kron (Crown) glas des Objectivs noch eine convexconcave Linse von Flintglas verbindet, so dafs erstere dem Objecte zu liegt und die Zerstreuungsweite der Flintglaslinse gröfser ist, als die Brennweite des Kronglases, damit das stärker zerstreuende Flintglas die Farben des Kronglases aufheben kann, ohne die brechende Kraft desselben zu sehr zu beeinträchtigen. Man nennt solche Objective achromatische und ein mit einem solchen versehenes Fernrohr ein achromatisches Fernrohr *).

Die beiden Gläser werden nicht unmittelbar mit einander zur Berührung gebracht, sondern zwischen beiden liegen, in Abständen von 120°, an den Rändern drei gleich dicke Stanniolblättchen. In **Fig. 21.** (S. 42) stellt k die Kronglas- f die Flintglaslinse vor, welche mittelst dreier Schräubchen oder eines vorgelegten Ringes in eine ringförmige Fafsung γ, die in das Innere der Objectivröhre eingeschraubt wird, eingesetzt sind. Durch einen aufgeschobenen Deckel E wird das Objectiv geschützt **).

Die sphärische Aberration, welche hauptsächlich durch die auf den Rand des Objectivs fallenden Lichtstrahlen hervorgebracht wird, kann dadurch möglichst vermieden werden, dafs man aufser der im §. 37. erwähnten Ocularblendung im

---

*) Von dem verneinenden α und χρῶμα, Farbe.

**) Eine von Fraunhofer gegebene Vorschrift über das Reinigen achromatischer Objective und das Wiedereinsetzen in ihre Fafsung findet man u. a. in Breithaupt's Beschreibung eines Reichenbachschen Wiederholungskreises. Cassel 1835 S. 19.

Innern der Objectiv- und Ocularröhre vom Objective an, **Diaphragmen** *) oder **Blendungen** anbringt, deren innere Oeffnungen dem Mantel eines abgestumpften Kegels angehören. Die eine Grundfläche desselben ist die convexe Fläche der Flintglaslinse, die andere die Oeffnung der Ocularblendung oder der Collectivlinse. Wie man für das virtuelle Bild eine gröfsere Deutlichkeit und Helligkeit erreichen kann, wird im §. 46. gezeigt werden. In Fig. 21. sind die erwähnten Blendungen durch δ_1, δ_2 ...... δ_6 bezeichnet, während δ den Ring der Ocularblendung darstellt, deren Einrichtnng im §. 46. angegeben werden wird.

Um jede störende Reflexion des Lichts zu vermeiden, sind sowohl die Blendungen, als das ganze Innere des Rohrs mit einer matt aussehenden Schwärze überzogen.

2. Die **Helligkeit** eines Fernrohrs ist der Totaleindruck der Stärke des Lichts oder der Beleuchtung des vergröfserten Bildes auf das betrachtende Auge.

Hat man zwei Fernröhre von gleicher Vergröfserung, aber verschiedener Oeffnung der Objective, gleichzeitig auf denselben Gegenstand gerichtet, so werden die Kegel des gebrochenen Lichts, welche die entsprechenden Punkte des physischen Bildes erzeugen, offenbar Lichtmengen darstellen, welche ihren Grundflächen proportional sind. Es werden daher die Helligkeiten der beiden gleichgrofsen Bilder sich zu einander verhalten, wie die Quadrate der Durchmefser der Objective. Haben dagegen die beiden Fernröhre gleiche Objective, aber verschiedene Vergröfserungen, so werden die nämlichen Lichtmengen auf die Oberfläche des gröfseren oder kleineren Bildes proportional ihrer Gröfse vertheilt werden, so dafs demnach die Helligkeiten der Bilder umgekehrt den Quadraten der Vergröfserung proportional sind. Weil aber ein Theil des auf das Objectiv fallenden Lichts von der Oberfläche desselben zerstreut und ein anderer Theil, wegen der nicht vollkommenen Durchsichtigkeit des Glases, gar nicht durchgelafsen wird, so kann auch nicht alles auffallende Licht ins Auge gelangen. Aufserdem mufs aber nicht allein die Oeffnung des Oculars die erforderliche Gröfse haben, sondern auch das durch das Ocular gehende Licht ganz von der Pupille des Auges aufgefangen werden können.

Bezeichnet in Fig 24. SS_1AB den auf das Objectiv AB fallenden Lichtcylinder, F den gemeinschaftlichen Brennpunkt, in welchem der eine Punkt des

Fig. 24.



*) διάφραγμα Zwischenwand.

physischen Bildes, durch den Lichtkegel ABF erzeugt, angenommen werden mag, so ist FCD der auf das Ocular CD fallende Lichtkegel und $CDss_1$ der auf das Auge gelangende Lichtcylinder.

Sind nun D und d die Durchmefser der Oeffnungen des Objectivs und Oculars, δ der Durchmefser der Pupille, so ist, da $D : d = B : b$, unter B und b die Brennweiten verstanden, auch $v = \frac{D}{d}$ (§. 41.). Wenn also $d \overline{\overline{<}} \delta$ ist, so wird der ganze Lichtcylinder $CDss_1$ auch in das Auge gelangen, also für dafselbe kein Licht verloren gehen und dann beziehungsweise

$$v \overline{\overline{>}} \frac{D}{\delta}$$

sein. Für $\delta < d$, oder $v < \frac{D}{\delta}$ geht aber für das Auge ein Theil des auffallenden Lichts verloren und erhält dafselbe nur so viel Licht, als wenn $\delta = d$ wäre. Ist nun für $d = \delta$ die Helligkeit eines bestimmten Objects, mit freiem Auge gesehen $= 1$, so ist die Helligkeit des Fernrohrs, wenn man von der Lichtschwächung desselben abstrahiert,

$$H = \frac{D^2}{\delta^2 . v^2};$$

wird nach Prechtl $\delta = 0{,}06$ Zoll*) genommen, also $\delta^2 = 0{,}0036$, so würde $H = 1$ sein, wenn $\delta^2 . v^2 = D^2$, also z. B. für $D = 2{,}4$ Zoll und $v = 40$, wäre; diefs ist also die gröfste Helligkeit, die das Fernrohr für terrestrische, d. h. nicht selbstleuchtende Gegenstände gewähren kann. Wollte man also d oder $\frac{D}{v} > \delta$ nehmen, so würde diefs zur Vergröfserung der Helligkeit nichts nützen, da alsdann ein Theil des Lichtcylinders $CDss_1$ in Fig. 24. von der Pupille gar nicht aufgefangen würde, weshalb jene Vergröfserung der Helligkeit auch weder durch eine geringere Vergröfserung des Fernrohrs bei demselben Objective, noch durch ein gröfseres Objectiv bei der nämlichen Vergröfserung erreicht werden kann und es daher immer am zweckmäfsigsten ist, die geringste Vergröfserung für das Fernrohr so zu nehmen, dafs seine Helligkeit der natürlichen gleich ist, mithin so, dafs $v = \sqrt{\frac{D^2}{\delta^2}} = \sqrt{\frac{D^2}{0{,}0036}}$ ist. Ist $\delta > d$, so ist $v > \frac{D}{\delta}$, mithin H kleiner als 1, die Helligkeit nimmt dann im quadratischen Verhältnisse der Vergröfserung ab. Ist aber $\delta < d$, also $v < \frac{D}{d}$, so erhält zwar nach dem Vorhergehenden das Auge so viel Licht, als wenn $\delta = d$ wäre, allein es ist dann, wenn man die Lichtschwächung durch die Linsengläser vernachläfsigt, $H > 1$. Diefs Verhältnifs findet sich bei den s. g. Kometensuchern oder Nachtfernröhren, die bei einer grofsen Oeffnung des Objectivs nur eine verhältnifsmäfsig geringe Ver-

*) Prechtl's praktische Dioptrik u. s. w. Wien 1828 S. 165.

gröfserung haben, indem ihre Bestimmung ist, von dem schwachen Lichte des entfernt liegenden Gegenstandes möglichst viele Strahlen ins Auge gelangen zu lafsen. Da die Fraunhoferschen Kometensucher bei 10maliger Vergröfserung eine Objectivöffnung von 34 Linien und 24 Zoll Brennweite haben, so ist für sie

$$H = \frac{34^2.}{(0,72)^2 . 100} = 22,4$$

d. h. der Gegenstand erscheint im Fernrohr 22,4 Mal so hell, als er mit blofsem Auge erscheinen würde. Indessen darf hierbei nicht übersehen werden, dafs, obgleich der Lichtcylinder mit einem Durchmefser von 3,4 Linien ins Auge tritt, die Helligkeit dennoch nur $= 1$ sein kann, da auch ohne Fernrohr die Augenöffnung 3,4 Linien betragen würde. Nach §. 42. beträgt das Gesichtsfeld dieses Fernrohrs mit einfachem Ocular $= \frac{2062,6}{11} = 187$ Minuten.

3. Ort des Auges. Damit aber die Pupille des Auges sämmtliche gebrochene Strahlen des Bildes des Objects auffangen kann, mufs das Auge in der gehörigen Entfernung von der Hinterfläche des Oculars sich befinden. Für das Bild qp in Fig. 19. sind nun die Hauptstrahlen, wie Oq und Op diejenigen, welche dem Bilde das beste Licht zuführen und hinter dem Oculare B sich wieder in einem Punkte ω vereinigen, in welchem sich das Auge befinden mufs. Deshalb darf der optische Mittelpunkt O als der leuchtende Punkt für die auf das Ocular fallenden Lichtstrahlen, ω als ihr Vereinigungspunkt und $o\omega$ daher als die Vereinigungsweite angesehen werden. Da nun nach den Gesetzen der Brechung des Lichts für das Ocular, dessen Brennweite $= b$

$$\frac{1}{b} = \frac{1}{d} + \frac{1}{\delta},$$

wenn d den Abstand des leuchtenden Punktes, hier also $= B + b$, (§§. 39 u. 40.) und δ die Vereinigungsweite, hier also den Abstand des Orts des Auges vom Ocular bezeichnet, so ist

$$\delta = \frac{b \cdot d}{d - b} = \frac{b\,(B + b)}{B} = b + \frac{b^2}{B}.$$

Bei einigen Fernröhren pflegt der Ort des Auges durch einen eigenen Oculardeckel dargestellt zu werden.

4. Bezeichnet λ die bei jedem bestimmten Objecte verschiedene eigenthümliche Lichtstärke, so ist $\left(\frac{\delta}{2}\right)^2 \pi . \lambda$ der Ausdruck für das gesammte vom Auge aufgefangene Licht. Wenn nun ein Fernrohr die Menge des dem Auge zugeführten Lichts des bestimmten Gegenstandes so vermehrt, dafs dasselbe $= L . \left(\frac{\delta}{2}\right)^2 \pi . \lambda$ ist, so nennt man L die absolute Lichtstärke des Fernrohrs, die mit der durch das Auge empfundenen Lichtstärke oder der Helligkeit nicht verwechselt werden darf.

Während also für einen bestimmten Gegenstand die Menge des dem freien Auge zugeführten Lichts $= \left(\frac{\delta}{2}\right)^2 \pi . \lambda$ ist, erhält die Oberfläche des Objectivs, dessen Durchmefser $= D$ ist, von demselben Gegenstande eine Lichtmenge $= \left(\frac{D}{2}\right)^2 \pi . \lambda$; wenn also $\delta = d$ oder $\delta > d$ ist, so wird das Auge auch alle diese Strahlen auffangen und daher die absolute Lichtstärke des Fernrohrs, da das freie Auge $\left(\frac{\delta}{2}\right)^2 \pi . \lambda$ empfängt,

$$L = \frac{\left(\frac{D}{2}\right)^2 \pi . \lambda}{\left(\frac{\delta}{2}\right)^2 \pi . \lambda} = \frac{D^2}{\delta^2}$$

woraus hervorgeht, dafs die absolute Lichtstärke eines Fernrohrs von seiner Vergröfserung ganz unabhängig und auch so lange constant ist, als $\delta \geqq d$, oder $v \geqq \frac{D}{\delta}$ ist. Es kann daher L sehr grofs werden, sobald D sehr grofs ist, weshalb mit einem solchen Fernrohre auch schwache Sterne noch deutlich gesehen werden können.

Besitzt also ein kugelförmiger Weltkörper von der Entfernung Δ eine Lichtintensität $= \Lambda$ und wird derselbe unter einem Sehwinkel $= \varphi$ wahrgenommen, so ist, da φ der Entfernung Δ umgekehrt proportional ist, der Lichteindruck auf unser Auge $= \frac{\delta^2 \Lambda}{\Delta^2}$, mithin der Flächengröfse der Pupille und der Lichtintensität direct, dem Quadrate der Entfernung aber umgekehrt proportional. Für ein Fernrohr daher, das dem Auge eine Lichtmenge $= \frac{L \delta^2 \Lambda}{\Delta^2}$ so zuführt, wie sie dem freien Auge in der Entfernung $\frac{1}{m} \Delta$ erscheinen würde, ist

$$\frac{L \delta^2 \Lambda}{\Delta^2} = \frac{\delta^2 \Lambda}{\left(\frac{1}{m}\right)^2 \Delta^2} = \frac{m^2 \delta^2 \Lambda}{\Delta^2}, \text{ mithin } m = \sqrt{L},$$

welchen Zahlenwerth man die Raumdurchdringende Kraft des Fernrohrs nennt.

Da nun Herschels 40füfsiges Teleskop über 36500 Mal so viel Licht in das Auge bringt, als das freie Auge von demselben Gegenstande erhalten würde, so ist für dafselbe $m = 191$, d. h. durch das Teleskop würde ein Fixstern, der 191 Mal weiter entfernt wäre, als er jetzt ist, noch mit dem nämlichen Glanze erscheinen, den jetzt das freie Auge von ihm erhält*).

---

*) Gehler's physik. Wörterbuch, neue Bearbeitung Art. Fernrohr S. 152.

Die zusammengesetzten oder achromatischen Oculare des astronomischen Fernrohrs.

§. 44.

Das bislang vorausgesetzte einfache Ocular des astronomischen Fernrohrs wird wegen der starken Krümmung seiner Oberfläche aufs Neue das Bild hinsichtlich dessen Deutlichkeit beeinträchtigen, welches das achromatische Objectiv möglichst deutlich hervorbrachte. Sollten die aufs Neue hervortretenden Fehler wegen der sphärischen Abweichung möglichst vermieden werden, so würde man dem Oculare nur eine kleine Oeffnung geben können, das Fernrohr daher auch nur ein kleines Gesichtsfeld erhalten. Deshalb behält man dafselbe auch bei den stärksten Vergröfserungen für astronomische Beobachtungen bei, wenn dabei die beiden zunächst folgenden Oculare nicht angewandt werden können. Zur Beseitigung dieser besonders für terrestrische Beobachtungen sehr wesentlichen Mängel wendet man aufser dem convexen Oculare noch ein zweites Convexglas an, welches man zwischen jenes und das Objectiv stellt, und wodurch das physische Bild des Objectivs diesem etwas näher gerückt wird, weshalb dasselbe die Collectivlinse des Oculars genannt wird. Beide Gläser haben eine solche Stellung gegen einander und sind so geschliffen, dafs beide zusammen die sphärische und chromatische Abweichung in mehr oder minder hohem Grade eliminieren.

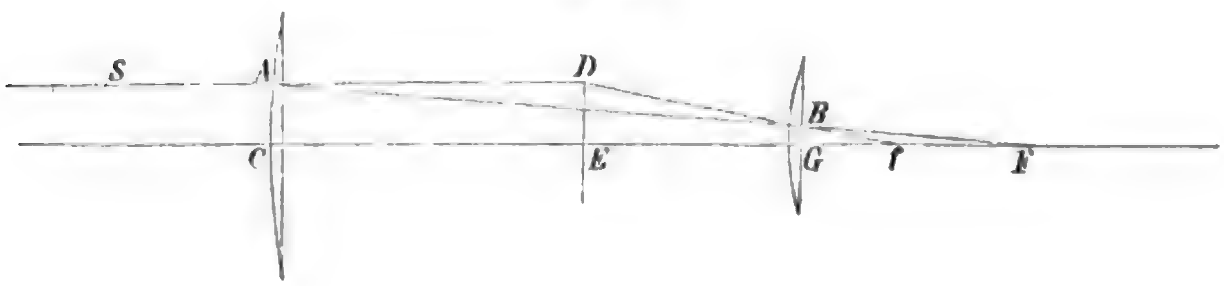
Bei den verschiedenen Constructionen der Oculare kann man sich aber immer eine dritte Convexlinse denken, welche dieselbe Brennweite und denselben Sehwinkel, also auch die nämliche Vergröfserung besitzt, als die beiden erwähnten Linsen in ihrer Verbindung mit einander haben. Man nennt diese imaginäre Glaslinse deshalb die äquivalente Glaslinse des Oculars.

§. 45.

Aufgabe. Aus den gegebenen Brennweiten β und b der Collectivlinse und des Oculars und ihrem Abstande von einander $= \Delta$, die Brennweite β_1 der äquivalenten Linse zu bestimmen.

In Fig. 25. sei AC ein Theil der Collectiv-, BG ein Theil der Ocularlinse, ihr gemeinschaftlicher Brennpunkt F. Der Parallelstrahl SA wird daher von

Fig. 25.



AC in der Richtung AF gebrochen, diese aber von BG nach f abgelenkt; da wo die Verlängerungen von SA und fB in D sich schneiden, wird daher die äquivalente Linse ihre Stellung haben und Ef ihre Brennweite $= \beta_1$ sein. Nun ist

$$CF : GF = AC : BG$$

und
$$AC = DE : BG = Ef : Gf,$$

mithin
$$CF : GF = Ef : Gf,$$

folglich, wenn man $GF = y$ setzt, und da $CG = \Delta$ und $CF = \beta$ ist,

$$\beta : \beta - \Delta = \beta_1 : y,$$

woraus
$$\beta_1 = \frac{\beta}{\beta - \Delta} \cdot y \text{ folgt.}$$

Da nun nach den Gesetzen der Brechung des Lichts für eine Convexlinse von der Brennweite b, wie im §. 43. 3.

$$\frac{1}{b} = \frac{1}{d} + \frac{1}{\delta},$$

also
$$d = \frac{b\,\delta}{\delta - b},$$

mithin hier
$$GF = \beta - \Delta = \frac{b\,y}{b - y}$$

ist, so erhält man
$$y = \frac{(\beta - \Delta)\,b}{(\beta - \Delta) + b},$$

und durch Substitution dieses Werthes in dem Ausdrucke für β_1

$$\beta_1 = \frac{\beta \,.\, b}{\beta + b - \Delta}.$$

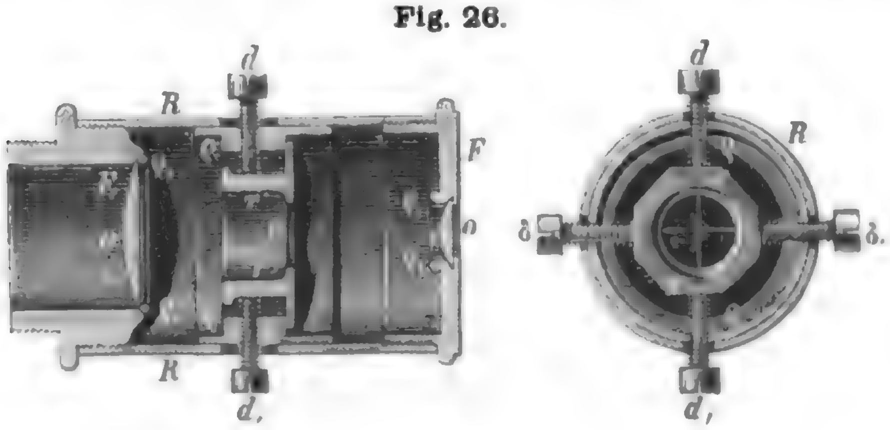
Zusatz. Da f den Brennpunkt der äquivalenten Linse bildet, so drückt der Werth für y zugleich den Abstand des Auges von der Hinterfläche der Ocularlinse aus. (Vgl. §. 43. 3.)

1. Das Huyghenssche Ocular.

§. 46.

Das in Fig. 26. im Verticaldurchschnitt abgebildete Ocular von Huyghens besteht aus zwei Planconvexlinsen O und o von Kronglas, welche beide ihre convexe

Fig. 26.



Fläche dem Objective zukehren und bei welchen nach der im vorigen Paragraph angegebenen Bezeichnung $\beta : \Delta : b = 3 : 2 : 1$ ist. Die Collectivlinse O, die eine solche Stelle erhält, dafs $\beta = \frac{2B}{v}$, unter B die Brennweite des Objectivs verstanden, fängt daher die durch das Objectiv gebrochenen Strahlen, ehe sie sich im vorderen Brennpunkte des Oculars o vereinigen können, auf und bringt das Bild dem Objectiv näher, so dafs dann durch das Ocular die Vergröfserung bewirkt wird. Der Ort des Bildes liegt also in der Mitte f zwischen den beiden Gläsern, woselbst auch der Ring rr für das Fadenkreuz sich findet. Gegen diesen Ring treten 1 oder 2 Paar diametral gegenüberstehende Druck- oder Stellschrauben dd_1, $\delta\delta_1$ zur Correction, wenn der Durchschnitt des Fadenkreuzes nicht genau in der optischen Achse des Fernrohrs liegt. Die Muttern dieser Schrauben sind in einen andern, den ersteren umgebenden Ring $\rho\rho$ eingeschnitten, welcher genau in die Ocularröhre RR pafst und zwischen beiden nur noch der zur Verschiebung des zuerst erwähnten Ringes rr nöthige Spielraum bleibt. Entweder ist nun der Ring $\rho\rho$ längs der Achse der Ocularröhre etwas verschiebbar, zu welchem Zwecke dieselbe etwas ausgeschnitten ist, um den Schrauben $dd_1 \ldots$ die nöthige Führung zu geben, oder es ist derselbe in RR unabänderlich befestigt und dann nur die seitliche Verschiebung der Ocularblendung möglich. In diesem Falle gestattet die Fafsung F des Oculars in der Ocularröhre RR die nöthige Verschiebung, oder mittelst eingeschnittener Schraubengänge die nöthige Verstellung längs ihrer Achse. Letztere Einrichtung verdient entschieden einen Vorzug vor der ersteren, da durch das häufige Anfafsen der Stellschrauben auch leicht eine seitliche Verschiebung der Blendung veranlafst wird. Die Fafsung F_1 der Collectivlinse O gestattet mittelst eingeschnittener Schraubengewinde an dem einen Ende ihre Befestigung an der gehörigen Stelle der Ocularröhre, an dem anderen aber an der im §. 38. erwähnten Röhre C in Fig. 21. Schliefslich mufs noch bemerkt werden, dafs beide Linsengläser mittelst vorgelegter kleiner Ringe $\rho_1 \rho_1 \ldots\ldots$ in ihren Fafsungen festgehalten werden.

§. 47.

Da nach dem vorigen Paragraph $\beta : \Delta : b = 3 : 2 : 1$, so ist $\beta = 3b$ und $\Delta = 2b$, folglich nach §. 45. die Brennweite β_1 der äquivalenten Linse des Huyghensschen Oculars $= \frac{3}{2}b$. Da nun ferner nach §. 40. die Vergröfserung des Fernrohrs mit dem Ocular o, dessen Brennweite $= b$ ist, nämlich $v = \frac{B}{b}$, so ist die Vergröfserung des Fernrohrs mit dem Huyghensschen Ocular $v_1 = \frac{2}{3}v$. Es beträgt daher die Vergröfserung des Fernrohrs mit dem Oculare von Huyghens nur zwei Drittheile der Vergröfserung, welche entstände, wenn das Fernrohr nur das Ocular o enthielte. Dagegen wird nach §§. 42. und 43. nicht nur das Gesichtsfeld, sondern auch die Helligkeit des Fernrohrs gröfser, insbesondere folgt

aus dem Ausdrucke für H, dafs letztere um mehr als das Doppelte steigt. Aus diesen Gründen gewährt also das Huyghenssche Ocular in optischer Beziehung einem ihm zugehörigen Fernrohre entschiedene Vorzüge vor dem, welches nur mit einem einfachen Oculare versehen ist. Indessen darf doch nicht übersehen werden, dafs wegen der Stellung des Fadenkreuzes zwischen den beiden Convexlinsen die beabsichtigten Aufhebungen der chromatischen und sphärischen Aberration auf das physische Bild und das Fadenkreuz nicht gleichmäfsig wirken, indem auf ersteres beide Linsen influieren, auf letzteres aber nur die Ocularlinse allein, eine Abnormität, die sich auch beim Einstellen auf verschieden entfernte Objecte und besonders bei verschiedenen Augen immer geltend macht. Auf der anderen Seite dagegen wird das Fadenkreuz beim Reinigen der Gläser mehr vor Staub geschützt.

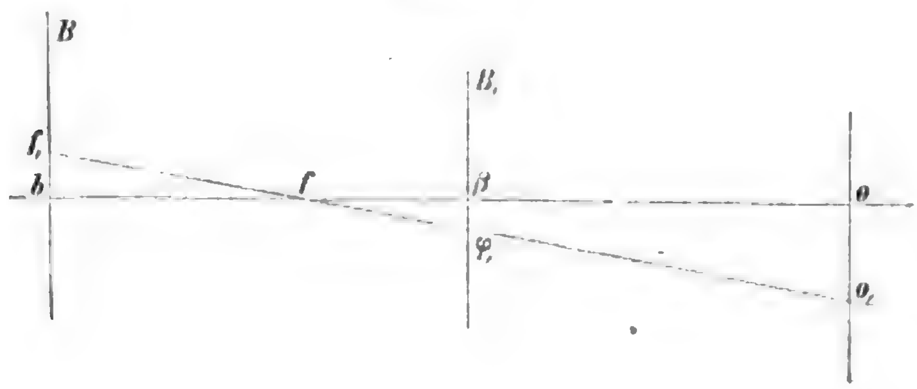
Man pflegt deshalb die Fernröhre mit dem Huyghensschen Oculare fast bei allen kleineren Mefsapparaten, Nivellierinstrumenten, Hülfsfernröhren, selbst bei gröfseren Fernröhren, welche man nur zur Topographie des Himmels benutzen will, also das Fadenkreuz meistens entbehren können, u. s. w. anzuwenden, sobald damit nicht zugleich mikrometrische und Distanzmefsungen ausgeführt werden sollen. Ferner gestattet das Ocular auch keine Anwendung bei Fernröhren mit den stärksten Vergröfserungen, weil dann das physische Bild zu nahe an die Gläser fallen, um so weniger daher auch die Aufstellung eines Fadenkreuzes gestatten würde.

§. 48.

Die Einstellung oder Pointierung des Fernrohrs auf ein terrestrisches Object.

Da das mit dem Fadenkreuz versehene Fernrohr, wie schon im §. 37. bemerkt ist, zum Visieren (Einstellen, Pointieren) nach bestimmten Gegenständen dienen soll, so ist es offenbar zur vollkommnern Erreichung dieses Zwecks durchaus nothwendig, dafs sowohl das Fadenkreuz, als das durch das Objectiv hervorgebrachte Bild des Gegenstandes in einer und derselben Ebene sich befinden und daher beide in der deutlichen Sehweite des beobachtenden Auges erscheinen. Denn wenn in Fig 27. f den Kreuzungspunkt des Fadenkreuzes, B oder B_1 aber

Fig. 27.



den Durchschnitt der Ebene darstellt, in welcher das Bild des Objects liegt, so wird das beobachtende Auge o nur dann die Punkte f und β oder b zusammenfallend erblicken, wenn die Augenachse mit der Geraden bf oder βf zusammenfällt, in jeder anderen Lage der Pupille des Auges aber, wie in o_1, wird f entweder den auf der entgegengesetzten Seite von bo liegenden Punkt f_1 oder den auf derselben Seite liegenden Punkt φ_1 des Bildes einnehmen, der Punkt b oder β des Bildes daher, in Bezug auf den festliegenden Punkt f, nach derselben oder nach der entgegengesetzten Seite von der liegen, nach welcher sich das Auge gewandt hatte. In diesem Falle wird deshalb auch jedes Mal ein mehr oder minder grofser Fehler beim Einstellen gemacht werden, je nachdem der Abstand des Punktes b oder β von f, oder der s. g. parallactische Winkel*) ofo_1 gröfser oder kleiner ist.

Man hat zuerst das Fadenkreuz in die richtige Stellung gegen das Ocular zu bringen. Diefs geschieht dadurch, dafs man das Fernrohr gegen den hellen Himmel richtet und entweder die Ocularblendung, wenn diese verstellbar ist, oder das Ocular so lange verstellt (§. 46.), bis die Fäden einfach und ganz schwarz erscheinen; dann liegen letztere in der deutlichen Sehweite. Darauf richtet man das Fernrohr durch Verschiebung der Ocular- oder Objectivröhre (§. 38.) auf einen bestimmten Gegenstand, bis dessen Bild von dem Auge möglichst deutlich wahrgenommen wird. Ob nun die Bilder des Fadenkreuzes und des Gegenstandes wirklich in einer Ebene liegen oder nicht, erkennt man sogleich durch ein seitliches Bewegen des Auges vor dem Oculare. Bleiben hierbei die erwähnten Bilder immer gedeckt, so hat die Ocularröhre die richtige Stellung gegen das Objectiv. Deckt aber das Fadenkreuz scheinbar solche Stellen des Objectivbildes, die auf der entgegengesetzten Seite von der liegen, nach welcher das Auge bewegt wurde, so ist das Bild des Gegenstandes weiter vom Auge entfernt, als das Fadenkreuzbild, und es ist dann die Ocular- (oder Objectiv-) Röhre so lange einzuschieben, bis beim Bewegen des Auges keine Verschiebung beider Bilder mehr sich zeigt. Werden aber beim seitlichen Bewegen des Auges solche Stellen des Objectivbildes von dem Fadenkreuze gedeckt, die mit dem bewegten Auge auf derselben Seite liegen, so ist die Ocular- oder Objectivröhre herauszuziehen. Man pflegt das erwähnte Hin- und Herschwanken der Bilder wohl das Hüpfen oder Tanzen derselben zu nennen.

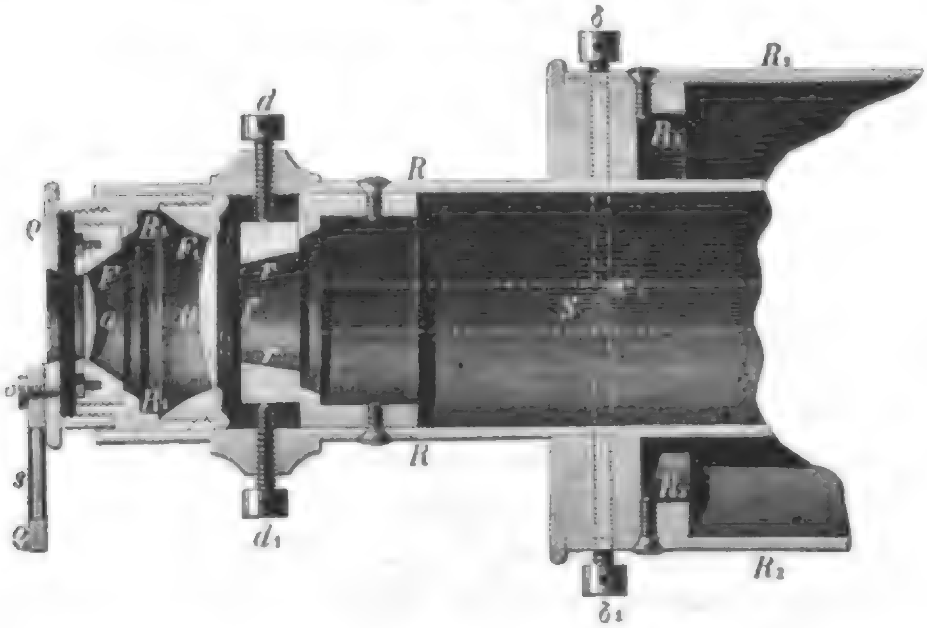
*) Von παράλλαξις Abwechselung, Vertauschung, daher auch Abweichung.

2. Das Ramsdensche Ocular.

§. 49.

Diefs in Fig. 28. im Horizontaldurchschnitt dargestellte Ocular besteht, wie das Huyghenssche, aus zwei Planconvexlinsen O und o von Kronglas, welche aber

Fig. 28.



so gestellt sind, dafs die Planseite des Oculars o dem Auge, die Planseite der Collectivlinse O dem Objectiv zugekehrt ist und $\beta : \Delta : b = 1 : \frac{4}{9} : \frac{5}{9} = 9 : 4 : 5$. Bei diesem Ocular ist daher $\beta = \frac{9}{5} b$ und $\Delta = \frac{4}{5} b$, folglich nach § 45. die Brennweite β_1 der äquivalenten Linse $= \frac{9}{10} b$ und deshalb die Vergröfserung r_1 desselben $= \frac{10}{9}$ der Vergröfserung, welche entstände, wenn die Collectivlinse nicht vorhanden wäre. Der Ort des Bildes und die Platte für das Fadenkreuz ist f, um $\frac{1}{10} \beta$ von der Collectivlinse, nach dem Objective zu, entfernt. In optischer Hinsicht steht also das Ramsdensche Ocular, da nach §§. 42. u. 43. nicht nur seine Helligkeit, sondern auch sein Gesichtsfeld um ein Bedeutendes sich geringer zeigt, hinter dem Ocular von Huyghens zurück; dagegen hat es den Vorzug, dafs sein Fadennetz, wegen seiner Stellung, nicht nur in erhöhter Reinheit gesehen wird, sondern auch der Ort desselben weder von der gröfseren oder geringeren Entfernung der Objecte, noch von dem Accommodationsvermögen des Auges erheblich abhängig ist, daher auch vorzugsweise bei allen distanzmefsenden Fernröhren, den Schraubenmikroskopen und bei den Fernröhren, die zu mefsenden Beobachtungen dienen sollen, angewandt wird. Der Ring $r\,r$, der das Fadenkreuz trägt, gestattet nur eine seitliche Verstellung durch die Correctionsschrauben d und d_1, deren Muttern in dem verdickten Ringe der Ocularröhre $R_1 R_1$

eingeschnitten sind. Die Fafsungen beider Gläser sind in eine Röhre $R_1 R_1$ eingeschraubt, welche in RR längs ihrer Achse verschiebbar ist. An $R_1 R_1$ ist wieder durch ein Schraubengewinde der Oculardeckel ρ befestigt (§. 43. 3.), während letzterer wieder die das Sonnenglas s führende Scheibe ρ_1 trägt, die um ein Schräubchen σ drehbar ist. Der in die Objectivröhre $R_2 R_2$ eingelegte Ring $R_3 R_3$ enthält die Muttern der gegen den Stahlrücken (§. 38.) S tretenden Stellschrauben $\delta \delta_1$. Hinsichtlich des Einstellens des Fernrohrs auf ein Object findet auch bei diesem Oculare das im §. 48. Erwähnte seine Anwendung, nur wird hier das Einstellen des Fadenkreuzes durch Verschiebung der inneren Ocularröhre $R_1 R_1$ erreicht.

§. 50.

Das Ramsdensche Ocular mit der Einrichtung zum Distanzmefsen.

Das in Fig. 29. im Verticaldurchschnitt dargestellte Ocular nebst Ocular- und Objectivrohr hat im Allgemeinen die in Fig. 28. dargestellte Einrichtung; es

Fig. 29.

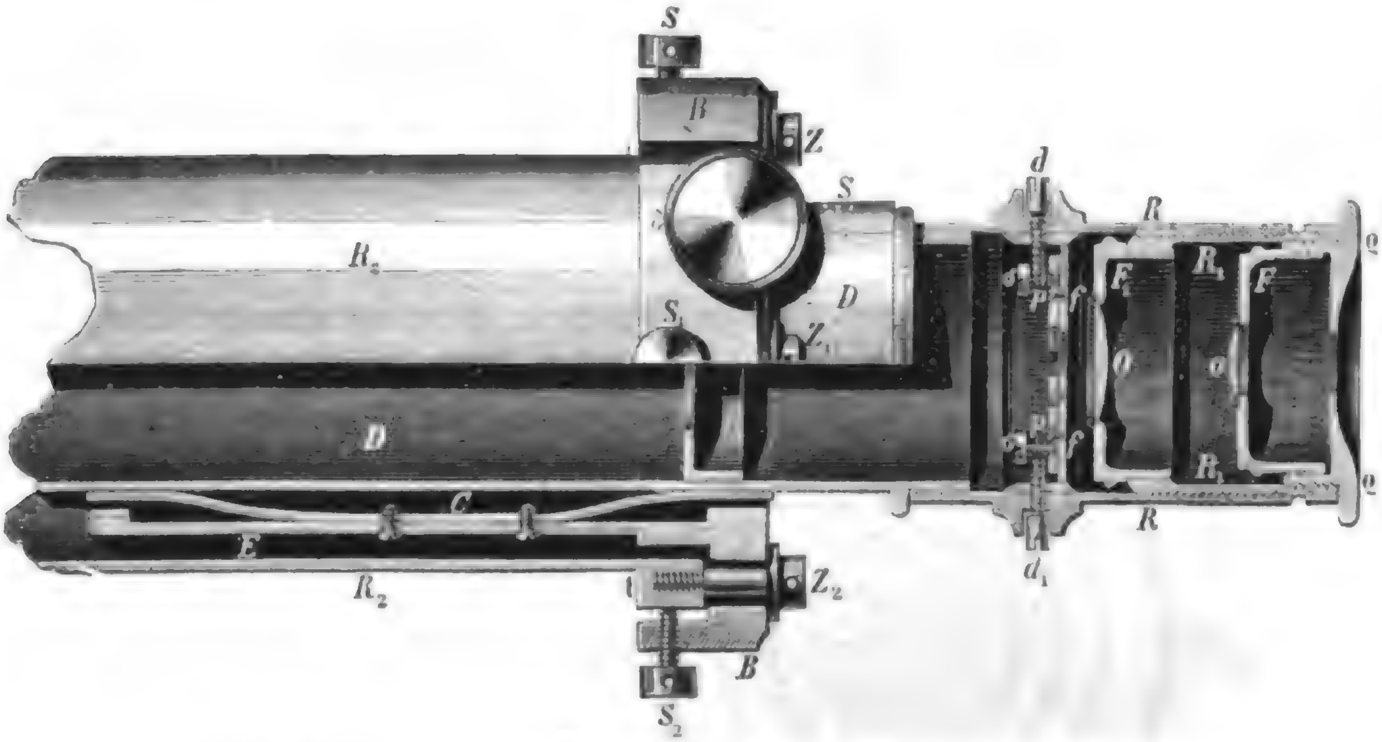
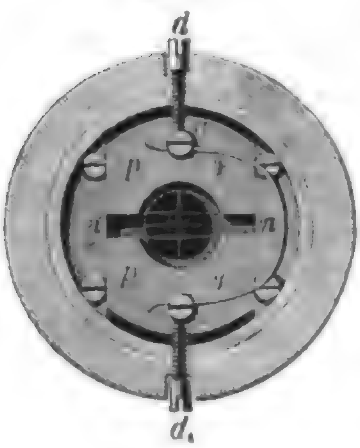


Fig. 30.

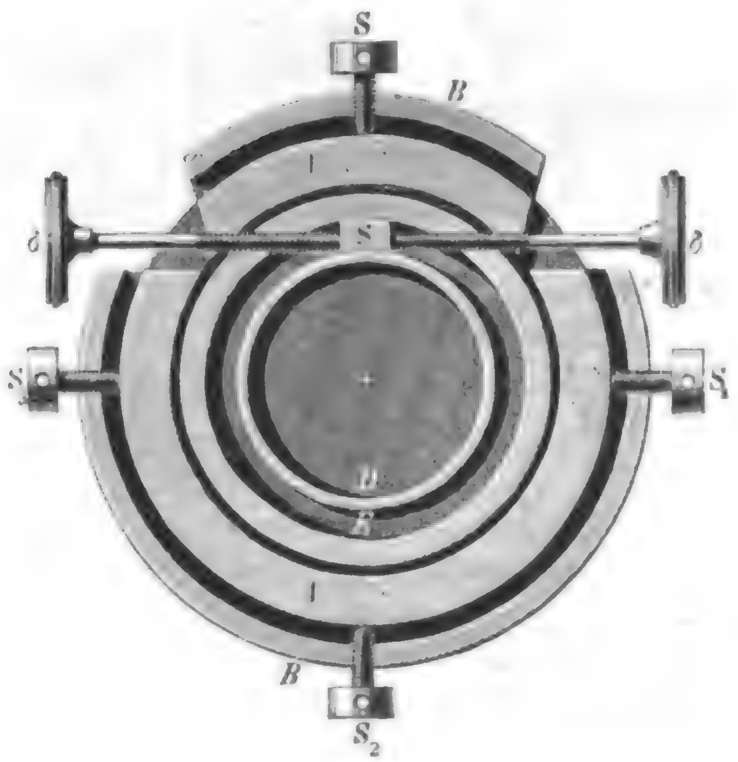


haben deshalb auch die gleichnamigen Stücke die in letzterer Figur angeführte Bezeichnung. Das Fadennetz der Fig. 29. dagegen ist zum Distanzmefsen mit verstellbaren Fäden eingerichtet. Die dazu nöthige besondere Einrichtung ist in Fig. 30. im Verticaldurchschnitt, normal gegen die Achse des Fernrohrs verzeichnet. Während das eigentliche Fadenkreuz, nämlich der Vertical- und der mittlere Horizontal-Faden, auf dem flachen Ringe ff (Fig. 29.) befestigt ist, befinden sich die beiden anderen Horizontalfäden

an den zwei Platten *pp*, welche durch die beiden kreissegmentartig geformten Platten $\pi\pi$ (Fig. 30.) ihre Führung erhalten und durch die Stellschrauben dd_1 beweglich sind, wodurch also eine Bewegung der genannten Horizontalfäden gegen den mittleren möglich gemacht wird. Die Stellschrauben treten gegen zwei andere, in *pp* befestigte, Schrauben $\sigma\sigma$ und bieten durch die gegen letztere sich legende Feder $\varphi\varphi$ den Stellschrauben den nöthigen Stützpunkt dar.

Da aber durch die unwandelbare Lage der Stellschrauben dd_1 die etwa erforderliche Verstellung des mittleren Durchschnittspunkts des Fadenkreuzes gegen die optische Achse des Fernrohrs nicht auf dieselbe Weise ausgeführt werden kann, wie sie das Huyghenssche Ocular und die in Fig. 28. dargestellte Construction des Ramsdenschen gestattet, enthält zur Erreichung dieser Verstellung das Ende des Objectivrohrs R_2 einen dicken Ring *A* (Figg. 29. u. 31.), der, den nöthigen Spielraum lafsend, von einem ausgeschnittenen Deckel *B* fast ganz umschlofsen wird. Durch vier Zugschrauben $z\,z_1\,z_2\,z_3$ (von denen letztere aber nicht sichtbar ist) kann letzterer mit dem Ringe *A* fest verbunden, durch die Stellschrauben $s\,s_1\,s_2\,s_3$ hingegen verstellt werden, nachdem die Schrauben z, z_1 . . . . . ., die in der Hinterplatte des Deckels den nöthigen Spielraum zur Verschiebung haben, zuvor etwas gelüftet werden. Da nun die Verlängerung *D* der Ocularröhre *R R* durch den erwähnten Deckel in das Objectivrohr *R* eintritt: so ist die Möglichkeit des Zusammenfallens der Achsen der Objectiv- und Ocularröhre dargethan. Die Röhre *D* ruht auf einer Feder *C*, welche mittelst Schräubchen in einem Rohre *E* befestigt ist, welches letztere einen erweiterten Theil des Deckels *B* bildet. In Fig. 31., welche den Verticaldurchschnitt des Deckels mit der Objectiv- und Ocularröhre darstellt, sind $\delta\delta$ die Stellschrauben, die gegen den Stahlrücken *S* treten, um eine geringe Achsendrehung des Ocularrohrs *D* möglich zu machen.

Fig. 31.



Anm. 1. Wird das Huyghenssche Ocular zum Distanzmefsen benutzt, so sitzen sowohl die drei Horizontalfäden, als der Verticalfaden auf derselben Platte der Ocularblendung und es sind dann die beiden äufseren Horizontalfäden nicht

zur Verstellung eingerichtet. Aus den oben angeführten Gründen eignet sich aber diefs Ocular weniger zum Distanzmefsen, als das Ramsdensche.

Anm. 2. Wesentlich verschieden von dem Ramsdenschen Ocular ist das von Ertel zum Distanzmefsen eingerichtete. Diefs enthält zwei fast dicht senkrecht übereinanderliegende planconcave Ocularlinsen und eben so zwei dazu gehörige Fadenkreuze in derselben Stellung. Das eine der letzteren befindet sich auf einer besonderen Platte, welche mittelst einer Schraube und einer Druckfeder gegen das andere verstellt werden kann. Durch ein Schraubengewinde wird die Ocularblendung mit der Ocularröhre verbunden, während sie zugleich in einer Röhre befestigt ist, in welcher die Fafsung der Ocularlinsen wieder verschiebbar ist. Ein Collectivglas besitzt diefs Ocular nicht. Eine Darstellung dieser Construction findet sich in dem Werke: die Instrumente der höheren und niederen Geodäsie u. s. w. von Engelbreit. Nürnberg, 1852.

§. 51.

Das Ramsdensche Ocular mit dem Glasprisma (das prismatische Ocular) und der seitlichen Verschiebung des Oculars zum astronomischen Gebrauch.

Die im §. 39. an ein möglichst vollkommnes Fernrohr gestellte Forderung, dafs das durch das achromatische Objectiv erzeugte Bild nicht nur in der Mitte, sondern in dem ganzen Gesichtsfelde in voller Deutlichkeit gesehen werden kann, zu deren Erfüllung das achromatische Objectiv allerdings wesentliche Verbefserungen geliefert hat, ist durch letzteres doch noch nicht vollständig erfüllt. Denn die Brechungsgesetze bei Convexlinsen zeigen, dafs die von bestimmten Punkten des Gegenstandes auf die Objectivlinse fallenden Lichtstrahlen um so mehr in Punkten sich vereinigen, welche analog den leuchtenden Punkten in einer Ebene liegen, als die Lichtkegel den mittleren Theil des Objectivs zu ihrer Grundfläche haben, dafs aber die Bilder jener leuchtenden Punkte in keiner Ebene, sondern auf einer dem Auge zu convex gekrümmten Fläche sich bilden, je mehr die Basis der Lichtkegel gegen den Rand des Objectivs hin fällt. Dieselbe Erscheinung mufs nun selbstverständlich sowohl bei der Collectivlinse der beiden erwähnten achromatischen Oculare, als auch bei den auf das stark gekrümmte Ocularglas fallenden Lichtkegeln eintreten, die von dem physischen Bilde des Objectivs ausgehen, nur dafs dann die krumme Fläche ihre Concavität dem Auge zukehrt. Daher geben die erwähnten Oculare auch nur in der Mitte des Gesichtsfeldes von dem Gegenstande ein klares, reines Bild, während dasselbe, durch seitliche Verschiebung des Fernrohrs an die Ränder des Gesichtsfeldes gebracht, nicht nur in unreinen Umrissen, sondern auch mehr oder weniger verzerrt sich zeigt. Dieselbe Erscheinung nimmt man auch bei der Betrachtung des Fadenkreuzes wahr, das nach dem Rande des Gesichtsfeldes zu mehr oder weniger

gekrümmt sich darstellt und tritt um so mehr hervor, wenn man mit dem Fernrohr eine gerade, horizontalliegende Kante eines Gegenstandes zuerst in der Mitte und darauf an den Rändern des Gesichtsfeldes betrachtet. Wenngleich ferner in beiden Ocularen, besonders aber in dem Huyghensschen, die chromatische Abweichung meistens eliminiert und nur am Rande des Gesichtsfeldes ein schmaler blauer Rand wahrzunehmen ist, so ist die durch die sphärische Abweichung entstandene Krümmung und Verzerrung des Bildes am Rande des Gesichtsfeldes, obgleich sie beim Ramsdenschen Oculare weniger als beim Huyghensschen sich geltend macht, nicht vollständig weggeschafft. Dafs durch das Ramsdensche Ocular das Fadenkreuz in erhöhter Reinheit sich zeigt und daher auch dann immer seine Anwendung finden sollte, wenn das Fernrohr zu mefsenden Beobachtungen dienen soll, ist schon im §. 49. erwähnt.

Bei den gewöhnlichen terrestrischen Beobachtungen und Mefsungen haben die erwähnten Unvollkommenheiten insofern ein weniger bedeutendes Gewicht, als die einzuvisierenden Gegenstände gröfstentheils Punkte oder Linien darstellen, deren Bild doch immer in die Mitte des Gesichtsfeldes gebracht werden mufs, woselbst der Durchschnitt des Fadenkreuzes liegt, und deshalb rein und deutlich sich wahrnehmen lafsen. Bei Beobachtungen der Himmelskörper dagegen, insbesondere bei Sternbeobachtungen, wobei an jedem der 5 bis 11 senkrechten Fäden der Durchgang des Sterns mit gleicher Präcision beobachtet werden soll, bringt man eine seitliche Verschiebung der Röhre, in welcher die beiden Linsen des Ramsdenschen Oculars in ihren Fafsungen sitzen, an, damit auch der an die äufsersten Fäden des Fadennetzes tretende Stern in die Mitte des Gesichtsfeldes gebracht und deshalb rein und deutlich erkannt werden kann. Diese Einrichtung ist in Fig. 32. a u. b im Durchschnitt und in der vorderen Ansicht dargestellt. Damit aber die Beobachtung eines Sterns, welche Lage er auch an der Himmels-

Fig. 32. a.

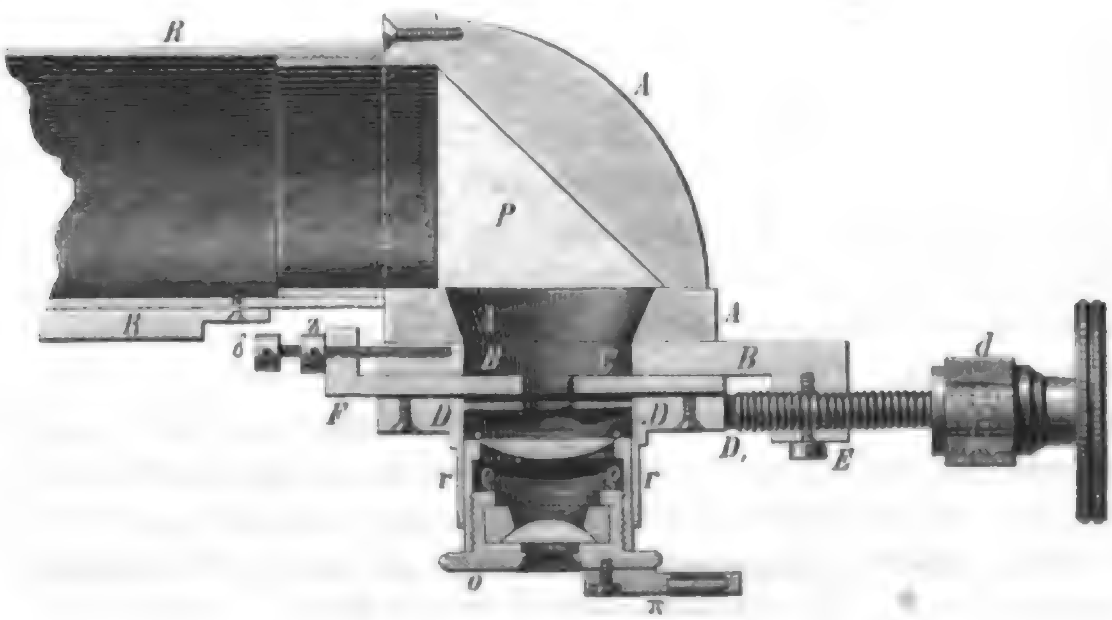
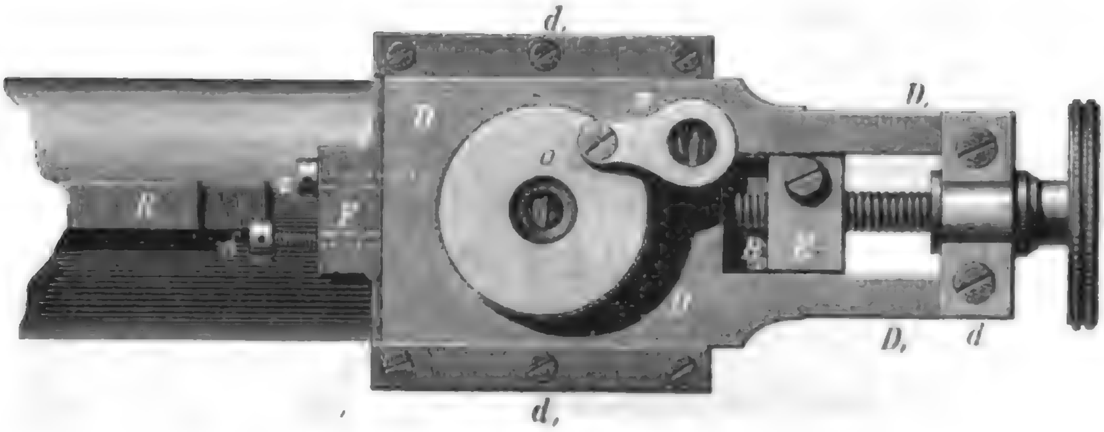


Fig. 32. b.



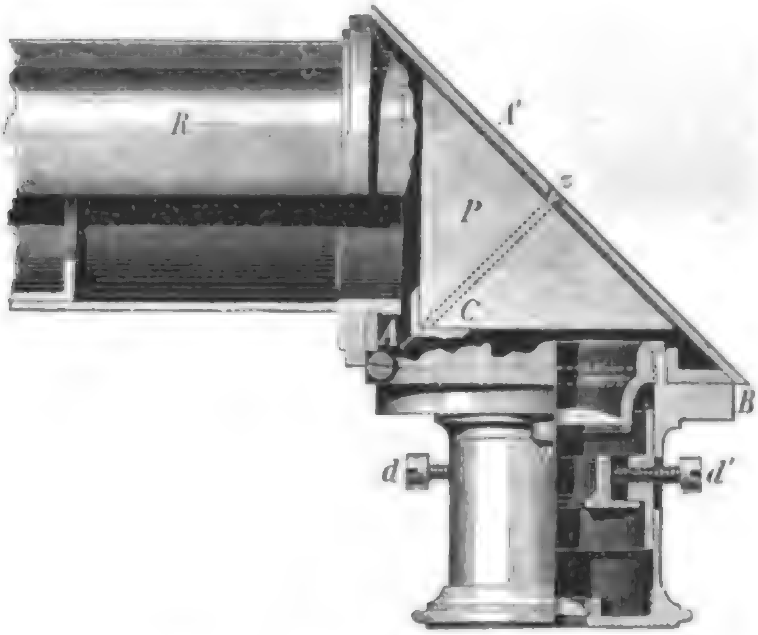
kugel einnehmen mag, mit gleicher Bequemlichkeit gemacht werden kann, bringt man vor dem Ocular und dem Fadennetz in der Ocularröhre so ein Glasprisma von gleichschenklicht-rechtwinklichtem Querschnitt an, dafs die eine Kathetenebene zur optischen Achse des Fernrohrs normal steht, wodurch das Licht nach den bekannten Eigenschaften der totalen Reflexion um 90^0 so abgelenkt wird, dafs die Achse des in das Auge tretenden Lichtcylinders eine horizontale Lage hat. Man pflegt solche Oculare wohl prismatische zu nennen.

Das Gehäuse *A A A* des Glasprisma's *P* ist an der einen offenen Seite, an welcher die eine Kathetenebene liegt, mittelst eines Schraubengewindes an dem Ocularrohre *R R* befestigt; die offene Seite der anderen Kathetenebene enthält die oben erwähnte Vorrichtung zum Verschieben des Oculars. Diese besteht, aufser der Schraube *S*, aus drei in der Mitte durchbohrten Platten, *B C D*, von welchen die beiden letzteren in schwalbenschwanzförmigen Nuthen längs ihrer Umfafsungen sich verschieben lafsen. Die dem Fufse *A* des Glasprisma's zunächstliegende Platte *B* enthält nach der Seite der Schraube *S* zu einen prismatischen Fortsatz *E*, in welchen die Mutter der Schraube eingeschnitten ist. Letztere dreht sich in einem cylindrischen Lager *d*, welches in der rahmenförmigen Erweiterung D_1 der Platte *D* liegt, zu deren Führung die aufgeschraubten Prismen $d_1 d_1$ dienen. Die Platte *C* enthält das Fadennetz und vertritt daher die Ocularblendung; der an der einen Seite befindliche Lappen *F* derselben enthält die zur Correction des Fadennetzes erforderliche Zugschraube *z* und Druckschraube δ. Mit der Platte *D* ist eine Röhre *r r* verbunden, in welcher die Ocularröhre ρ ρ sich verschieben läfst. Auf der Ocularplatte *o* ist das mit dem Sonnenglase versehene Plättchen π um einen eingeschraubten Stift drehbar. Es ist einleuchtend, wie durch das Anziehen oder Lösen der Schraube *S* und das damit verbundene Vor- oder Zurückschieben der Röhre *rr* jeder der Seitenfäden des Fadennetzes in die Mitte des Gesichtsfeldes gebracht, oder daraus entfernt werden kann *).

*) Diefs verschiebbare Ocular findet sich an dem mehrfach erwähnten Meyersteinschen Durchgangsinstrumente.

Anmerkung. Das in Fig. 33. dargestellte prismatische Ocular, dessen Prisma P auf dem Stuhle A ruht und aufserdem von Deckplatten A^1 umgeben

Fig. 33.



wird, gegen welche dafselbe in dem Dache C mittelst zweier Zugschrauben z befestigt ist, kann ebenfalls an der einen Seite an das Ocularrohr R geschraubt werden. Statt des Ramsdenschen Oculars enthält es ein Huyghenssches mit den seitlichen Correctionsschrauben d d^1 für das Fadennetz. Die Ocularröhre wird mittelst zweier diametral gegenüberliegender Schrauben s (von denen nur die vordere sichtbar ist) mit der Fafsung des Prisma's verbunden, zugleich aber kann dieselbe wegen der in der Platte B befindlichen ovalen Löcher durch vorheriges geringes Lüften der Schrauben s um ihre Achse etwas gedreht werden, um die Verticalfäden vertical stellen zu können.

3. Das orthoskopische Ocular von Kellner *).

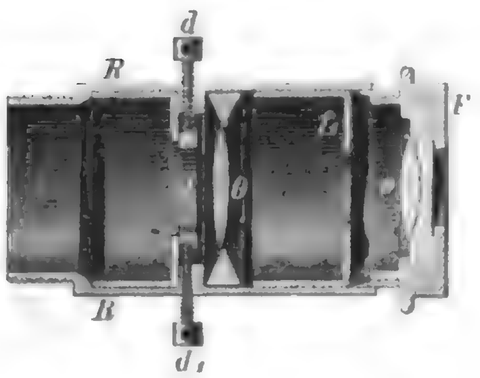
§. 52.

Durch das, von dem für die praktische Optik leider zu früh verstorbenen Optikers C. Kellner zu Wetzlar erfundene orthoskopische Ocular werden nicht allein die im vorigen Paragraph erwähnten Mängel des Fernrohrs, die indessen selbstverständlich bei verschiedenen Fernröhren auch in sehr verschiedenem Mafse sich zeigen, vollständig gehoben, sondern auch noch andere Vortheile erreicht, welche das nicht orthoskopische Ocular nicht gewährt, von denen insbesondere nur das grofse Gesichtsfeld und die Möglichkeit erwähnt werden mag, dafs es auch bei den stärksten Vergröfserungen angewandt werden kann. Leider ist die eigentliche

*) Das orthoskopische Ocular, eine neu erfundene achromatische Linsencombination u. s. w. von E. Kellner. Braunschweig, Vieweg u. Sohn 1849. Der Name von ὀρθός, gerade und σκοπέω, betrachte.

Zusammensetzung desselben bis jetzt noch ein Geheimnifs und es mag daher hier nur bemerkt werden, dafs das Ocular aus drei Glaslinsen besteht, von denen aber zwei mit einander vereinigt sind. Ein möglichst klares Bild davon giebt Fig. 34. im verticalen Durchschnitt, der nach einem zum Meyersteinschen vierzehnzölligen Theodolith mit mikroskopischer Ablesung gehörigen Oculare entworfen ist. *RR* stellt darin das Ocularrohr, *O* die Collectiv- und *o* die combinierte achromatische Ocularlinse, *f* die Ocularblendung mit dem Fadenkreuz und *dd* die beiden Stellschrauben derselben vor. Besondere Beachtung verdient noch die vor dem Oculare angebrachte Blendung f_1, so wie auch, dafs ersteres mit seiner Fafsung *F* gegen die Collectivlinse verstellbar ist.

Fig. 34.



Eine von der vorigen verschiedene, von dem Mechaniker Hensoldt in Wetzlar meistens ausgeführte Construction des orthoskopischen Oculars zeigt **Fig. 21.** (s. S. 42.) Das Ocularglas *o* besteht nur aus einer Planconvexlinse, die ebene Seite dem Auge zugekehrt, während die Collectivlinse *O* ebenfalls ein Biconvexglas mit fast gleicher Krümmung der Vorder- und Hinterfläche, die flachere Seite aber dem Objectiv zugekehrt ist. Nach den Mittheilungen des Mechanikers Frerk in Celle hatte bei einem Fernrohr von 15 Zoll Brennweite und 24maliger Vergröfserung das Ocular *o* eine Brennweite von 6 Linien und 2,6 Linien freie Oeffnung. Der Abstand der Planfläche des ersteren bis zu der dem Objective zugekehrten krummen Fläche der letzteren war 8,1 Linien; die Oeffnung des Fadenkreuzringes φ 3,6 Linien und sein Abstand von der zunächstliegenden krummen Fläche des Collectivglases 1,3 Linien.

4. Das gebrochene Fernrohr.

§. 53.

Das im §. 51. erwähnte Fernrohr mit prismatischem Ocular gewährt bei Sternbeobachtungen und selbst bei bestimmten terrestrischen Einstellungen für jede beliebige Lage des Sterns oder Richtobjects allerdings schon eine im Ganzen genügende Bequemlichkeit. Indessen setzt jene Construction nicht allein voraus, dafs das Fernrohr an dem einen Ende der Umdrehungsachse angebracht ist, sondern sie fordert auch, wie jedes andere Fernrohr, für jede verschiedene Höhe des Richtobjects eine andere Höhe des Auges. Diese bleibt aber bei dem gebrochenen Fernrohre für alle Richtobjecte die nämliche, daher dafselbe für Beobachtungen die gröfstmögliche Bequemlichkeit gewährt. Das charakteristische Merkmal des gebrochenen Fernrohrs besteht darin, dafs das die Ablenkung des Lichts bewirkende Prisma in dem mittleren parallelepipedischen Theile der Umdrehungsachse angebracht und zu

demselben Zwecke auch die eine Hälfte der Umdrehungsachse durchbohrt ist, welche an ihrem Ende das Ocular enthält und daher insofern die Ocularröhre des Fernrohrs darstellt. In Fig. 35. bezeichnet $A\ A\ A^1\ A^1$ den Verticaldurchschnitt

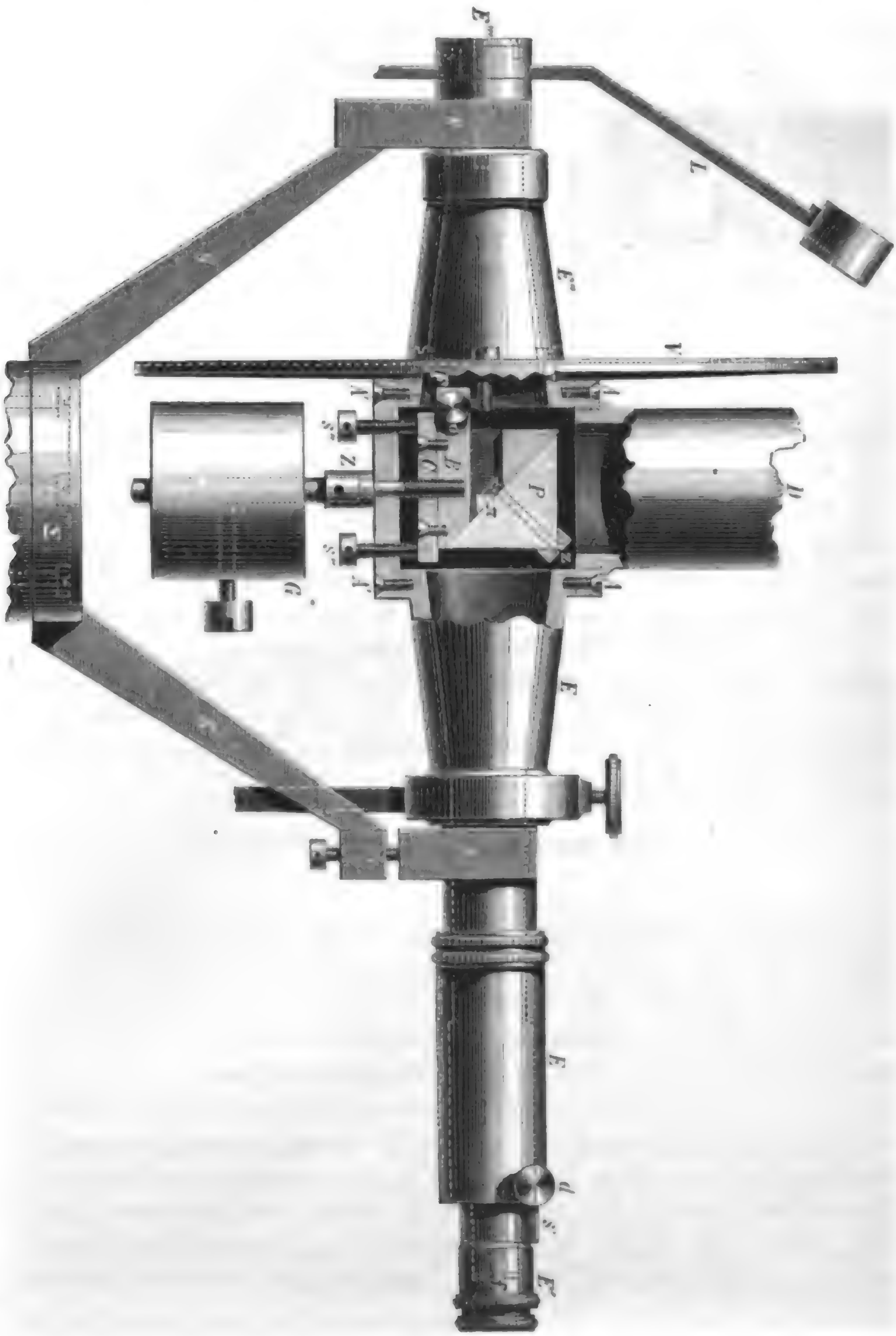


Fig. 35.

des erwähnten Parallelepipedums, in dessen Aushöhlung das Glasprisma P auf dem Metallstuhle B durch zwei vor den Grundebenen des Prisma's liegenden Zugschrauben s (von welchen aber nur die hintere dargestellt ist), die von dem Dache in einen seitlichen Lappen des Stuhls treten, befestigt ist. Die den Stuhl tragende Fufsplatte C ruht auf drei starken Stellschrauben $s^{II} s^{II} s^{II}$ (von denen die in der Mitte liegende nicht gesehen wird), welche in der Deckplatte A_I A_I ihre Mutter haben, und wird durch die Zugschraube Z, deren Mutter in C und B eingeschnitten ist, gegen dieselbe befestigt. Die erwähnten vier Schrauben dienen zugleich zur Berichtigung der etwaigen nichtnormalen Lage der Collimationslinie des Fernrohrs gegen dessen Umdrehungsachse, da wegen der langen Ocularröhre E E E^I der erwähnte s. g. Collimationsfehler an der Ocularblendung füglich nicht verbefsert werden kann. Da die in das Objectivrohr D tretenden Lichtstrahlen nur dann ein deutliches Bild des Objects, zu welchem am zweckmäfsigsten ein Stern genommen wird, geben können, wenn die auffangende Kathetenebene normal gegen die optische Achse des Objectivrohrs gerichtet ist, so enthält zur etwa nöthigen Drehung des Prisma's, analog der Correctionsvorrichtung der Röhrenlibelle, der Stuhl einen seitlichen parallelepipedischen Fortsatz F, gegen welchen zwei diametral gegenüberstehende Stellschrauben σ σ treten, von denen aber nur die vordere in der Zeichnung dargestellt ist. Das Objectivrohr D wird in die Deckplatte A A geschraubt und durch zwei gegenüber aufgesteckte Gegengewichte G G balanciert. Das mittelst des Stahlrückens S und der diametral gegenüberliegenden Feder in die Ocularröhre E geschobene Auszugrohr E^I enthält das Ramsdensche Ocular mit dem bei f liegenden Fadennetze; durch zwei gegen den Stahlrücken tretende Stellschrauben d d kann die Röhre E^I in E um ihre Achse gedreht und festgestellt werden.

Endlich mag noch bemerkt werden, dafs zur Beleuchtung des Fadennetzes auch die andere Hälfte E^{II} der Umdrehungsachse, so wie auch die Mitte des Stuhls in derselben Richtung durchbohrt und an der Hypotenusenebene des letzteren ein kleines Glasprisma π befestigt ist, welches die Lichtstrahlen, die von der vor E^{III} stehenden Lichtflamme ausgehen, ungehindert hindurch gehen läfst.

C. Das terrestrische oder Erdfernrohr.

§. 54.

Für manche Mefsungen, insbesondere für das Nivellieren ist es unangenehm und besonders für den Anfänger störend, die beobachteten Objecte in umgekehrter Stellung im Fernrohr zu erblicken. Deshalb ist der Zweck des Erdfernrohres, die vergröfsert erscheinenden Gegenstände zugleich in aufrechter Stellung zu zeigen. Um das durch das Objectiv entstandene umgekehrte physische Bild in ein auf-

rechtes zu verwandeln, wird es schon ausreichen, wenn die von dem physischen Bilde ausgehenden Strahlen auf zwei Convexlinsen fallen, die hinter dem Brennpunkte des Objectivs und vor dem eigentlichen Oculare in geeigneter Stellung angebracht sind, wie diefs der in Fig. 36. dargestellte Gang der Lichtstrahlen zeigt. Die von dem Gegenstande *PQ* ausgehenden Lichtstrahlen werden von dem Objective so gebrochen, dafs innerhalb der vorderen Brennweite der ersten Convexlinse *A* das umgekehrte physische Bild *qp* entsteht. Durch jene Linse würde nun, wie beim astronomischen Fernrohr, wieder ein vergröfsertes, ebenfalls umgekehrtes geometrisches Bild $q_1 p_1$ entstehen, wenn die von *qp* ausgehenden Strahlen nicht auf die zweite Convexlinse *B* fielen. Da nun *qp* weit vor dem vorderen Brennpunkte *f* des Glases *B* steht, so bewirkt dafselbe, dafs die Lichtstrahlen, die von $q_1 p_1$ herzukommen scheinen, hinter dem hinteren Brennpunkte f_1 desselben ein von jenem Bilde umgekehrtes, d. h. ein aufrechtes Bild $p_{11} q_{11}$ des Objects erzeugen, welches dem in der gehörigen Sehweite befindlichen Auge, durch das Ocular *C*, das vergröfserte aufrechte Bild $p_{111} q_{111}$ liefert.

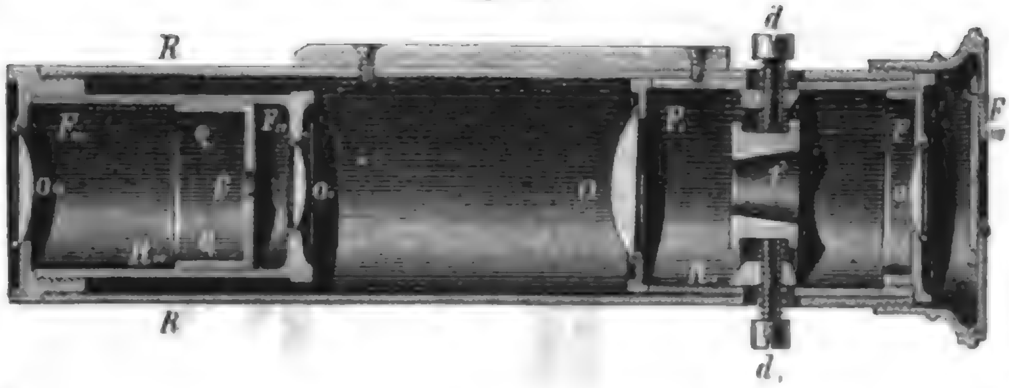


Fig. 36.

§. 55.

Damit aber das im vorigen Paragraph genannte dreifache Ocular nach demselben Principe, wie bei den in den §§. 44. u. f. genannten Doppelocularen ein Bild giebt, welches möglichst achromatisch und frei von sphärischer Abweichung ist, setzt man das terrestrische Ocular aus vier Planconvexlinsen zusammen, von denen, wie Fig. 37. im Verticaldurchschnitte zeigt, die vordern zwei, O_{11} und O_1, ihre Plan-, die hintern zwei, *O* und *o*, ihre Convexseite dem Objective zukehren. Das im vorigen Paragraph erwähnte umgekehrte Bild *qp* (Fig. 36.) liegt ebenfalls etwas in der vorderen Brennweite des Glases O_{11}, während das aufrechte $p_{11} q_{11}$ zwischen *O* und *o* und zwar etwas in der vorderen Brennweite des Oculars *o* liegt, woselbst auch die Ocularblendung mit dem Fadenkreuz *f* angebracht ist. Weil indessen durch den Gang der von dem physischen Bilde *qp* ausgehenden Lichtstrahlen die Oeffnung der zweiten Linse O_1 eine so kleine sein würde, dafs die Linse nicht bequem einzusetzen ist, so giebt man ihr eine gröfsere

Fig. 37.



Oeffnung und daher auch einen gröfseren Durchmefser, bringt aber vor demselben einen Ring pp mit der entsprechenden Oeffnung f_1 an *).

Die in den Fafsungen F_{111} und F_{11} sitzenden Linsen O_{11} und O_1 befinden sich in der Röhre R_{11}, welche in die Ocularröhre R eingeschraubt wird. Auch die Fafsungen F_1 und F der Gläser O und o sitzen in einer Röhre R_1, welche in der Ocularröhre verschiebbar ist. F_{1111} stellt den Oculardeckel vor, der mittelst eines Schraubengewindes mit R_1 verbunden ist. Wie beim Huyghensschen Oculare läfst sich durch die Schrauben $d\,d_1$ das Fadenkreuz verstellen, die Ocularröhre selbst aber in der Objectivröhre vor- und zurückschieben. Hinsichtlich der Einstellung auf ein Object gelten auch für diefs terrestrische Ocular die im §. 48. angegebenen Regeln.

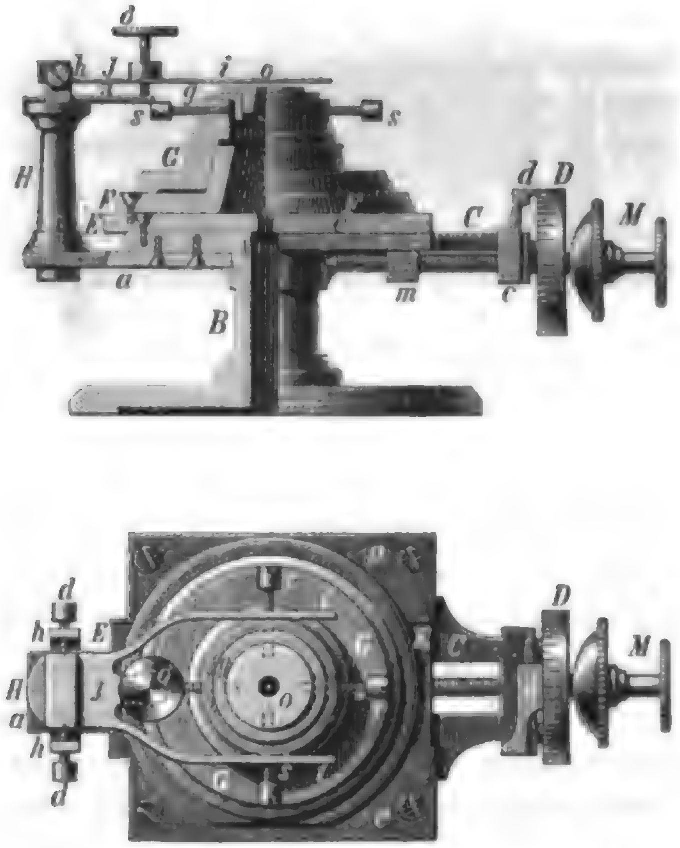
§. 56.

Das Einziehen und die Beleuchtung der Fäden und die Prüfung der Güte eines Fernrohrs.

1. Wie schon im §. 37. bemerkt ist, werden für das Fadennetz bei fast allen geometrischen Mefswerkzeugen Spinnenfäden angewandt. Man nimmt dazu entweder solche, die unmittelbar von der lebenden Spinne erhalten werden, indem man sie zwingt, sich von einem Gegenstande herabzulafsen, oder die Fäden eines Cocons der Spinnen, welche vor den ersteren noch den Vorzug haben, dafs sie alle gleich dick sind. Man zieht nun einen solchen Faden heraus, fährt einige Male mit dem Daumen und dem Zeigefinger an demselben herab, um ihn vom Staube zu reinigen und spannt ihn zwischen zwei hinlänglich geöffneten Zirkelspitzen, an denen sich etwas Klebwachs befindet, möglichst stark aus, indem man den Faden behaucht. Dann bringt man denselben auf den flachen Ring der Ocularblendung. Die weiteren Operationen werden aber sehr zweckmäfsig auf dem, von dem hiesigen Mechaniker Klindworth angefertigten Hülfsapparate ausgeführt, der in halber natürlicher Gröfse in Fig. 38. im Verticaldurchschnitt und Grundrifs dargestellt ist. Eine quadratförmige Platte A bildet mit dem mit einem Fufse

*) Prechtl's praktische Dioptrik. S. 200 u. f.

Fig. 38.



versehenen cylindrischen Körper *B* ein Ganzes und dient als solches einem zweiten beweglichen Stücke zur festen Unterlage. An der einen Seite enthält die Platte *A* eine rahmenförmige Erweiterung *C*, welche das Achsenlager *c* einer Mikrometerschraube *M* und die Indexplatte *d* der auf der Trommel *D* der Schraube befindlichen Eintheilung trägt. Das Lager der Mutter *m* der Mikrometerschraube ist an einer Platte *E E* befestigt, welche in zwei schwalbenschwanzförmigen Nuthen der Platte *A* und zwischen zwei Führungsplatten *e e* auf sichere Weise durch Umdrehung der Schraube sich vor- und rückwärts bewegen läſst. Diese Bewegung wird daher nicht nur dem mit *E* durch Schrauben verbundenen konischen Körper *F*, sondern auch dem ihn umhüllenden ebenfalls konischen Körper *G* mitgetheilt, während letzterer zugleich mit seiner an der unteren Mantelfläche angebrachten Theilung gegen die auf *F* angebrachten Indices um die Verticalachse sich drehen läſst. In die Aushöhlung des Körpers *G* legt sich noch der durch vier Stellschrauben *s s* .... zu befestigende und oben eine Scheibe tragende hohle Cylinder *g*, in welchen die mit dem Fadenkreuze zu versehende Ocularblendung *o* gesteckt wird. Zum Auflegen und zur Befestigung der Fäden ist unter der Platte A mittelst Schräubchen noch eine andere Platte *a* befestigt, welche eine Säule *H* trägt, auf welcher eine kleine Stütze *h h* für zwei Druckschräubchen *d d* angebracht ist, zwischen deren Spitzen die zu einer Gabel *i i* sich erweiternde Platte *I* drehbar ist. Auf dem einen Arm der Gabel befestigt man nun den zwischen den Zirkelspitzen ausgespannten Faden oder auch ohne Weiteres den Faden aus

dem Cocon, nimmt zu diesem Zwecke einen mit einem hölzernen Griff versehenen Schraubenzieher, der an seinem Ende mit etwas Wachs versehen ist, erwärmt das Eisen an einer Spiritusflamme, ohne aber das Wachs dabei in die Flamme zu bringen, bis das Wachs zu verdampfen beginnt, wodurch es bis zum höchsten Grade flüſsig geworden ist und läſst dann auf den auf die Gabel gelegten Faden einen kleinen Tropfen fallen. Indem man nun denselben nochmals behaucht, spannt man ihn bis zum anderen Gabelarme mit der Hand oder durch an dem andern Ende angeklebte kleine Gewichtchen so stark als möglich aus und befestigt dann auch das andere Ende auf dieselbe Weise. Mittelst der Stellschraube σ, die auf einer kleinen auf der Säule *H* befestigten Platte π ihren Stützpunkt hat, legt man darauf den Arm mit dem straff gespannten Faden auf die richtige Stelle des Ringes der Blendung und befestigt auf die vorhin angegebene Weise wieder den Faden. Um sich zu überzeugen, ob der Faden nach seiner Befestigung gut gespannt ist, behaucht man ihn nochmals und untersucht mit der Loupe, ob er selbst im feuchten Zustande die gehörige Straffheit zeigt. Auf dieselbe Weise verfährt man auch mit den übrigen Fäden.

Durch die Eintheilung der Trommel der Mikrometerschraube wird man nun nicht allein in den Stand gesetzt, die zwei auf einander normal stehenden Fäden des Fadennetzes genau in die Mitte der Oeffnung der Blendung zu bringen, sondern auch die parallelen Seiten- oder Horizontalfäden des Fadennetzes in gleichen Abständen von der Mitte einzuziehen. Für den ersten Fall bringt man den auf der Gabel ausgespannten Faden bis an die beiden diametral gegenüberstehenden Punkte der kreisförmigen Oeffnung, liest jedesmal den Stand der Eintheilung ab und dreht die Schraube um die Hälfte derselben zurück, so geht der Faden durch den Mittelpunkt des Kreises. Durch die Drehung des Konus *G* um 90° oder um einen anderen bestimmten Winkel, den die vorhin erwähnte Eintheilung des Konus *G* erkennen läſst, kann man dann auf die vorige Weise auch die Fäden in normaler oder schiefer Richtung bequem aufziehen.

Nachdem nun sämmtliche Fäden eingespannt sind, bringt man auf die Stellen des Ringes, wo sie liegen, kleine Tröpfchen von einem Lackfirniſs, nach dessen Austrocknen auch nöthigenfalls das überflüſsige Wachs weggenommen werden kann.

2. Zur Beleuchtung der Fäden für nächtliche Beobachtungen hat man verschiedene Einrichtungen. Die eine derselben ist schon im §. 53. angegeben. Bringt man aber das daselbst genannte kleine Prisma π im Innern des Fernrohrs an der Grenze des Konus, welcher den Weg der Lichtstrahlen im Innern des Fernrohrs bezeichnet, an einem mit einer Schraube versehenen Stifte an, deren Kopf auſserhalb des Rohrs liegt, dem Prisma gegenüber aber im Rohre eine mit einer Glasplatte bedeckte und mit einem Deckel verschlieſsbare kreisförmige Oeffnung an, durch welche die von der vorgestellten Blendlaterne ausgehenden Lichtstrahlen auf das Prisma fallen: so hat man durch die Drehung der

Schraube ein bequemes Mittel zur Moderierung des Lichts für gröfsere oder kleinere Sterne, indem dadurch den Lichtstrahlen die auffangende Kathetenebene in normaler oder schiefer Lage, also in gröfserer oder kleinerer Fläche ausgesetzt wird. Diese Einrichtung setzt voraus, dafs das Fernrohr an dem einen Ende der Umdrehungsachse befestigt ist. In diesem Falle befindet sich auch wohl in dem würfel- oder cylindrischen Mittelstücke des Fernrohrs unter 45^0 gegen die Collimationslinie ein Planspiegel mit einer dem Lichtkonus entsprechenden elliptischen Oeffnung aufgestellt, die spiegelnde Ebene dem Oculare zugekehrt und in dem Objectivrohr dem Spiegel gegenüber die vorhin erwähnte kreisförmige Oeffnung.

Zuweilen bedient man sich auch zur Beleuchtung des Fadenkreuzes des s. g. Illuminateurs, der in einem Ringe besteht, den man von vorn auf das Objectivrohr steckt, von dem ein schmaler Streif ausgeht, an dessen Ende ein kleiner dem Objectiv zugekehrter Spiegel von Metall befestigt ist und deshalb dem Objective nur einen kleinen Theil des auffallenden Lichts raubt. Die Beleuchtung des Spiegels geschieht durch eine seitwärts aufgestellte Blendlaterne.

3. Was die Prüfung der Güte eines Fernrohrs anlangt, so wird man sich bei den kleineren Dimensionen desselben in der Regel auf die Untersuchung beschränken, ob das Bild eines scharf begränzten Gegenstandes, den man in einer Entfernung von 150 bis 300 Fufs aufstellt, und zu welchem man am besten regelmäfsige Polygone, z. B. Dreiecke, Quadrate oder Kreise von 1—2 Zoll Durchmefser von schwarzer Farbe auf weifsem Grunde nimmt, wenigstens in der Mitte des Gesichtsfeldes nicht nur völlig farblos oder nur am Rande bläulich gefärbt, sondern auch ganz deutlich, nicht verzerrt und gehörig beleuchtet erscheint, wozu man aber auch einen Stern wählen kann. Ueber die Prüfung gröfserer Fernröhre vgl. m. das schon oben citierte Werkchen von C. Kellner, das orthoskopische Ocular u. s. w. S. 21 u. f. In Bezug auf das Reinigen der Gläser mag bemerkt werden, dafs man den aufliegenden Staub mittelst eines weichhaarigen Pinsels, den sonstigen Schmutz aber mit einem nöthigenfalls mit etwas Alkohol angefeuchteten Läppchen eines feinen, alten und weichen Leinens entfernt und mit einem trocknen Läppchen nachreibt. Ueber das Reinigen der achromatischen Objective und das Wiedereinsetzen derselben vgl. m. Breithaupt's Magazin mathematischer Instrumente u. s. w. Heft 2. S. 19.

§. 57.

Die verschiedene Gestalt des Fernrohrs und die verschiedene Verbindung desselben mit dem Mefs- oder Hülfsapparat.

Es ist schon im §. 37. angegeben, dafs in der Geodäsie das Fernrohr in den meisten Fällen beim Einvisieren der Richtobjecte oder bestimmter Punkte angewandt wird. Nach der Art der Construction des Mefs- oder Hülfsapparats wird aber auch die Art der Verbindung des Fernrohrs mit demselben, so wie

auch seine Gestalt eine verschiedene sein. Bei den Meridiankreisen, Verticalkreisen und Universalinstrumenten bildet das Fernrohr zwei mit dem mittleren würfelförmigen oder cylindrischen Körper der Umdrehungsachse durch Schraubengänge verbundene gleiche abgestumpfte Konus, welche die gröſsere Grundebene in dem genannten Körper haben. Man wählt diese Einrichtung und Gestalt nicht nur zur möglichsten Beseitigung der Durchbiegung des Fernrohrs, sondern auch, bei gröſseren Fernröhren, zur leichteren Vertauschung des Objectivs und Oculars. Bei den Fernröhren aller übrigen Meſs- und Hülfsapparate ist die Gestalt derselben ein abgestumpfter Kegel oder ein Cylinder.

Bei den Apparaten, bei welchen es auf eine Bewegung des Fernrohrs in einer Verticalebene ankommt, wird dasselbe entweder, wie es bei dem Hauptfernrohr der Theodolithe der Fall ist, von einer doppelt konischen Umdrehungsachse gehalten, die mit ihren endwärts sitzenden Stahlzapfen in den Zapfenlagern der Stützen der Alhidade ruhen und theils in der Mitte der Umdrehungsachse, theils an dem einen Ende derselben befestigt. Oder das Fernrohr ist nur mit einer einseitigen, in einer Büchse sich bewegenden Umdrehungsachse versehen und mittelst einer Preſsschraube befestigt, wie es bei den Boussolen, den meisten Kippregeln der Meſstische, dem Versicherungs- und s. g. unteren Fernrohr der Theodolithe, Universalinstrumente u. s. w. der Fall ist. In allen diesen Fällen pflegt man dem Fernrohr eine konische Gestalt zu geben.

Bei den Nivellierinstrumenten, dem Gauſs'schen Heliotrop, den Collimatoren u. a. haben die Fernröhre eine cylindrische Gestalt, und liegen entweder mit zwei cylindrischen Ringen, die in gleichen Abständen von der Mitte angebracht sind, in ihren *y* förmigen Unterlagen, oder sie sind mit letzteren unabänderlich fest verbunden.

Die s. g. Hülfsfernröhre bringt man meistens in cylindrischen Faſsungen an, die wieder mit anderen eben solchen so verbunden sind, daſs die Fernröhre im horizontalen Sinne gedreht und auch in verticaler Richtung mit ihrer Faſsung bewegt werden können.

Bei den Spiegelinstrumenten endlich wird das cylindrisch geformte Fernrohr in einen Ring eingeschraubt, der meistens mittelst einer Schraube in verticaler Richtung bewegt werden kann.

D. Das Holländische oder Galilei'sche Fernrohr.

§. 58.

Die Erwähnung dieses Fernrohrs, obgleich untauglich zu eigentlichen Meſsungen, wird darin seine Rechtfertigung finden, daſs es bei Linienmeſsungen oder den damit in Verbindung stehenden Operationen, u. a. bei der Aufsuchung sehr entfernter und nur undeutlich wahrnehmbarer Signale zuweilen mit Nutzen angewandt wird. Es enthält auſser der achromatischen oder nichtachromatischen

Objectivlinse A in Fig. 39. noch ein biconcaves Ocular B, dessen Zerstreuungsweite kleiner ist, als die Brennweite des Objectivs und zugleich eine solche Stellung hat, dafs das durch das Objectiv hervorgebrachte umgekehrte physische Bild noch aufserhalb der hinteren Zerstreuungsweite des Oculars liegt. Ist nämlich F der hintere Brennpunkt des Objectivs, so würde ohne das Ocular, dessen hinterer Zerstreuungspunkt f ist, von dem Objecte PQ das Bild qp entstehen. Ehe aber die Lichtstrahlen sich in demselben vereinigen, werden sie von dem Oculare aufgefangen und dadurch das geometrische, aber aufrechte Bild $p_1 q_1$ hervorbringen. Aus diesem Grunde gestattet das Fernrohr kein Fadenkreuz und ist deshalb zum Einstellen bei Mefsungen untauglich. Es giebt zwar nur eine schwache Vergröfserung, aber deutliche Bilder. Unter dem Namen Feldstecher wird es in vollkommenem Grade von Plöfsl in Wien geliefert.



Fig. 39.

C. Das Mikroskop.

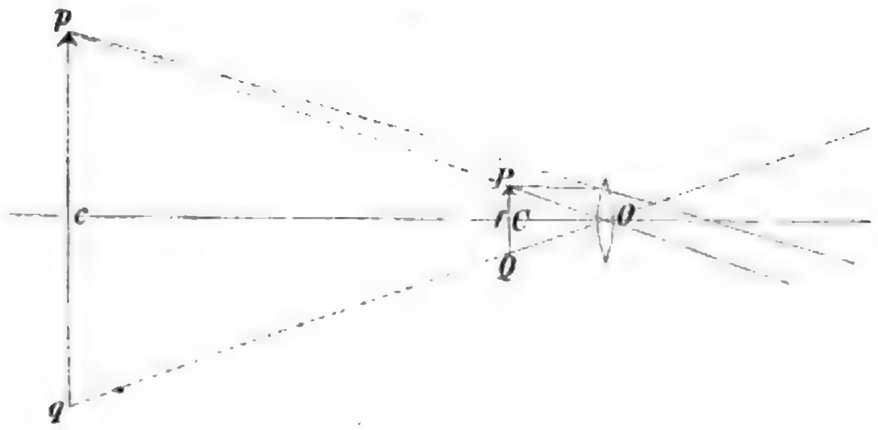
§. 59.

Während die dem freien Auge unter einem zu kleinen Sehwinkel erscheinenden einzelnen Theile eines entfernten Gegenstandes mittelst des Fernrohrs unter einem gröfseren Sehwinkel sich zeigen sollten, soll das Mikroskop von sehr kleinen Objecten, die man wegen der Beschränktheit unseres Accommodationsvermögens dem Auge nicht nahe genug bringen kann, ebenfalls gröfsere Bilder liefern. Man wendet dafselbe vorzugsweise zum Ablesen der Theilungen der eingetheilten Kreisränder an.

Das einfache Mikroskop und die Loupe besteht aus einer Biconvexlinse, deren Brennweite aber kleiner ist, als die Sehweite. Beträgt sie 1 bis 2 Zoll, so heifst das Glas eine Loupe. Zur Erreichung gröfserer Helligkeit und eines gröfseren Gesichtsfeldes wendet man auch wohl 2 Convexlinsen an, die man nahe zusammenstellt.

Beim Gebrauche des Mikroskops mufs das Object innerhalb der vorderen Brennweite sich befinden. Ist in Fig. 40. f der vordere Brennpunkt, PQ der

Fig. 40.



Gegenstand, so entsteht von ihm das vergröfserte, aufrechte aber geometrische Bild pq, welches von dem hinter dem Glase befindlichen Auge in der Sehweite betrachtet wird.

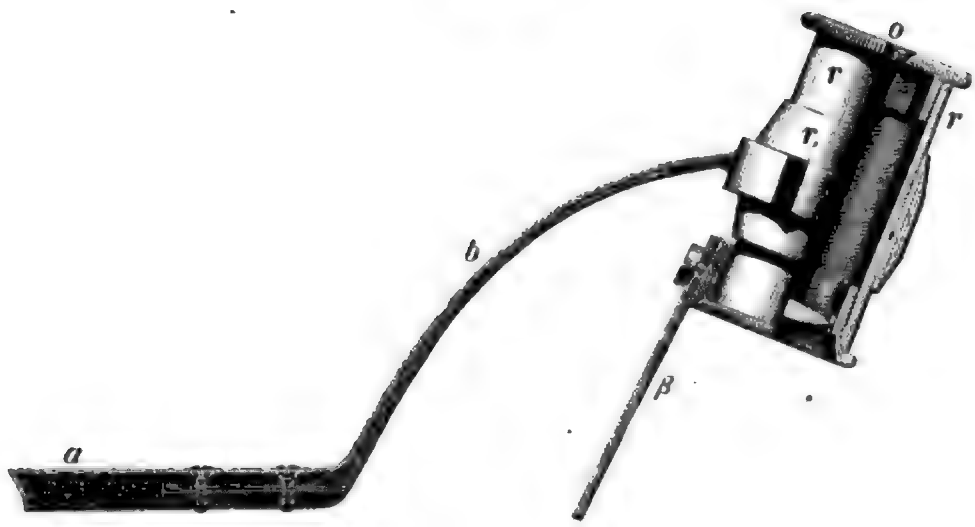
Da hier $CO = d$, $cO = \Delta = s$, nämlich gleich der Sehweite, so verwandelt sich der Ausdruck der Dioptrik $\frac{1}{b} = \frac{1}{d} + \frac{1}{\Delta}$, indem hier s negativ ist, in $\frac{1}{b} = \frac{1}{d} - \frac{1}{s}$, oder $\frac{s}{b} + 1 = \frac{s}{d}$; da aber die Vergröfserung v der Linse $= \frac{pc}{PC}$ $= \frac{cO}{CO} = \frac{s}{d}$, so erhält man die Vergröfserung, wenn man den Quotienten der Sehweite und Brennweite der Linse um 1 vermehrt.

Hinsichtlich der Helligkeit des Bildes gilt auch hier der im §. 43. angegebene Ausdruck $H = \frac{D^2}{\delta^2 v^2}$. Bei der nämlichen Glaslinse wird daher die Vergröfserung mit der Sehweite des Auges, und daher auch das Bild sich vergröfsern, wenn sich das Auge vom Glase entfernt, aber es wird dann zugleich die Helligkeit und das Gesichtsfeld der Linse geringer und wegen der auf das Auge fallenden Randstrahlen das Bild farbig, also weniger deutlich sich zeigen.

§. 60.

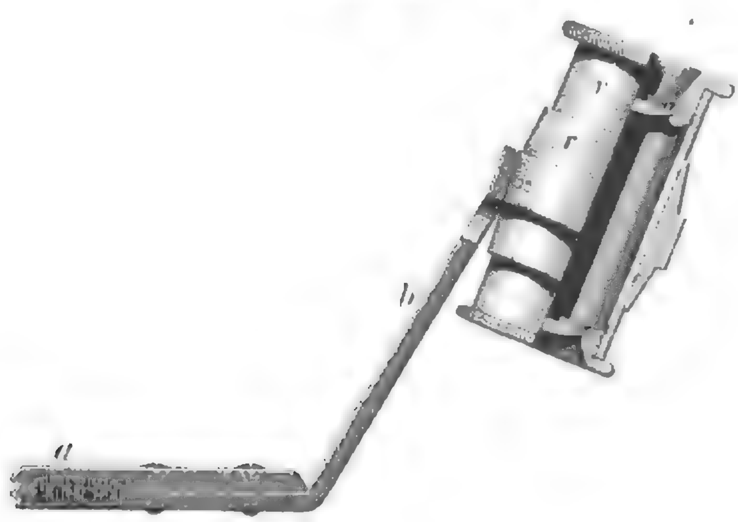
In einzelnen Fällen wendet man die Loupe als Handloupe, z. B. beim Ablesen der Theilstriche der Libelle oder der Trommel bei den Schraubenmikroskopen an, in welchem Falle man sie in eine Fafsung von Horn oder Holz bringt. Meistentheils dient sie aber zu der Bestimmung der Coincidenz der Theilstriche des Limbus und des Verniers. Zu diesem Zwecke bringt man die cylindrische Messingfafsung f, so wie auch den Oculardeckel o in Fig. 41. in eine Messingröhre r, welche in einer anderen r_1 für verschiedene Augen sich verschieben läfst. Letztere steht durch den Bügel b mit dem Arme a in Verbindung, der von dem Loupenringe ausgeht. Mittelst einer Schraube ist aufserdem an dem unteren Ende der Röhre r eine Blendung β, ein mit einem Papierstückchen ausgespannter Metallrahmen zur zweckmäfsigen Beleuchtung der Theilstriche angebracht, welche meistens eine seitliche Verschiebung gestattet.

Fig. 41.



Die in Fig. 42. dargestellte Loupe enthält zwei Planconvexlinsen zur Vergröfserung der Helligkeit und des Gesichtsfeldes; auch stellt der die Röhre r_1 tragende Bügel oder Arm *b* zugleich den Blendrahmen vor.

Fig. 42.



In einzelnen Fällen ist die plattenförmige Fafsung der Glaslinse auch unmittelbar mit einem Arme verbunden, der in ein Charnier endigt, mittelst dessen die Loupe der abzulesenden Theilung beliebig genähert werden kann.

§. 61.

Das zusammengesetzte Mikroskop besteht in seiner einfachsten Gestalt aus zwei Convexlinsen, von denen das Objectiv die kleinere ist und zugleich eine viel kleinere Brennweite hat, als das Ocular. Der Gegenstand steht nur etwas aufserhalb der vorderen Brennweite des Objectivs, daher durch dieses, dem Ocular ziemlich nahe, ein physisches, aber umgekehrtes Bild sich erzeugt, welches durch Verschiebung des Oculars in dessen vordere Brennweite gebracht

werden kann, und wie beim Fernrohr in ein vergröfsertes, ebenfalls umgekehrtes virtuelles Bild verwandelt wird.

Man wendet das zusammengesetzte Mikroskop bei den Mefswerkzeugen nur in Verbindung mit der Mikrometerschraube zum Einstellen des Fadenkreuzes auf den einen Theilstrich des Limbus, als Schraubenmikroskop, an. Das Objectiv besteht dann aus einer Planconvexlinse, deren Planseite dem Objecte zugekehrt ist; das Ocular ist dabei stets ein zusammengesetztes, ähnlich dem Huyghensschen Ocular des astronomischen Fernrohrs eingerichtet und nach seinem Erfinder das Campani'sche Ocular genannt. Ueber die Construction und nähere Anwendung des zusammengesetzten Mikroskops vgl. m. §. 65.

V. Vorrichtungen zur Bestimmung kleinerer Theile der eingetheilten Kreisränder.

A. Der Vernier oder Nonius*).

§. 62.

Der Vernier hat den Zweck, von den auf den Kreisen der Winkelmefser oder den geradlinichten Mafsstäben befindlichen Theilungen noch kleinere Theile ablesen zu können, da durch die Dicke der Theilstriche und ihre Entfernung von einander der unmittelbaren Theilung immer eine gewifse Gränze gesteckt ist, die nicht überschritten werden kann. Er besteht bei der Kreistheilung, auf welche hier, als bei weitem am häufigsten an geometrischen Instrumenten vorkommend, nur Bezug genommen werden soll, aus einem mit der Limbustheilung sich concentrisch bewegenden Bogenstück, dessen Länge, der Summe von n Theilen des Limbus gleich, entweder in $n+1$, oder in $n-1$ gleiche Theile getheilt ist. Erstere Einrichtung wird deshalb auch der Vernier mit der $n+1$ Theilung, letztere der Vernier mit der $n-1$ Theilung genannt. Bei den eingetheilten Kreisen kommt nur die erstere Art in Anwendung, während man sich der letzteren bei einigen geradlinichten Eintheilungen, insbesondere bei den Barometerscalen bedient.

Es sei l die Gröfse eines Theils des Limbus, nl die Länge des Verniers, die in $n+1$ gleiche Theile getheilt ist; die Gröfse eines Theiles desselben v ist also $=\frac{nl}{n+1}$ und daher $l-v=\delta=l-\frac{ln}{n+1}=\frac{l}{n+1}$. Man nennt den Zahlenwerth für δ die Angabe des Verniers.

Fällt demnach der Nullpunkt des Verniers, oder wie er auch genannt

*) Diese Vorrichtung wurde von dem Niederländer Peter Werner (Pierre Vernier) 1631 erfunden, daher sie eigentlich den ersten Namen führen mufs, während 1542 ein Portugiese Pedro Nunnez (Nonius) eine nach dem Princip der Kreistransversalen ausgeführte Ablesung kleinerer Theile der Limbustheilung zur Anwendung brachte.

wird, der Index der Theilung mit einem Theilstriche ω des Limbus zusammen, so wird auch der $n+1$ste des Verniers mit dem $n$ten des Limbus coincidieren und es weicht demnach der mit 1, 2, 3, ... n bezeichnete Strich des Verniers von dem in derselben Richtung auf ihn folgenden Striche des Limbus beziehungsweise um δ, 2δ, 3δ ..... $n\delta$ ab. Würde nun der Vernier nach der mit den wachsenden Ziffern der Theilung bezeichneten Richtung an dem Limbus so fortgeschoben, dafs der mit 1. 2. 3. ..... n bezeichnete Strich des Verniers mit irgend einem Theilstriche des Limbus zusammenfiele, so würde der Index, der vor der Verschiebung mit dem Theile ω coincidierte, von ω beziehungsweise um δ, 2δ, 3δ ..... $n\delta$ abstehen, wodurch offenbar die Möglichkeit der Ablesung kleinerer Theile der Limbustheile ausgesprochen ist.

Bezeichnet nun Ω den s. g. Nullpunkt des Limbus, gegen welchen bei der Einstellung des Fernrohrs auf irgend ein Richtobject der Ort des Indexpunktes o des Verniers bestimmt werden soll, so finden hinsichtlich der Lage desselben gegen einen Punkt ω der Limbustheilung, der um p Limbusstriche von Ω absteht, folgende 3 Fälle Statt.

1. Es fällt o mit ω genau zusammen. In diesem Falle ist der Ort des Index oder die Ablesung des Verniers $= p.l$, welchen Werth daher die, wenn auch nicht immer beigesetzte, aber doch leicht zu bestimmende Ziffer der Limbustheilung unmittelbar giebt.

2. Es fällt o über ω hinaus, liegt also zwischen ω und $\omega+1$. Coincidiert nun unter dieser Voraussetzung

a) irgend einer der übrigen Striche des Verniers, z. B. der $q$te nach o mit einem Theilstriche des Limbus, so ist der Ort des Index auf demselben durch $p.l+q.\delta$ dargestellt. Trifft aber auch

b) diese Annahme, wie es sehr häufig der Fall sein wird, nicht zu, sondern findet die Coincidenz weder bei dem $q$ten, noch dem $r$ten Striche nach o Statt (wenn r den unmittelbar auf q folgenden Strich des Verniers bezeichnet), so kann der Werth, welchen man dem vorigen Orte $p.l+q.\delta$ noch zusetzen mufs, nur durch Schätzung bestimmt werden, indem man die Gröfse der Differenzen x und y mit einander vergleicht, welche sich beziehungsweise bei dem $q$ten und $r$ten Striche des Verniers gegen die auf einander folgenden Theilstriche des Limbus zeigen. Ist nun z. B. $y=mx$, so wird, da $x+y$ immer $=\delta$ ist, $x+mx=\delta$, also $x=\frac{\delta}{m+1}$, mithin der Ort des Index durch $p.l+q.\delta+\frac{\delta}{m+1}$ bezeichnet.

Wäre z. B. bei einem in Sechstelgrade eingetheilten Limbus, dessen Vernier unmittelbar 10 Sekunden $=\delta$ angiebt, bei welchem daher nach dem Obigen 59 Sechstelgrade in 60 gleiche Theile getheilt sind, ω dem 40sten Striche nach Ω gleich also $=6^\circ 40'$ und wären für den 8ten und 9ten Strich nach dem Index o beziehungsweise $x=1$ und $y=2$, so würde der Ort des Index $=6^\circ 40'+8.10''+3'',33\ldots = 6^\circ 41' 23'',33\ldots$

Um nun bei der Bestimmung des Orts des Indexpunktes auf dem Limbus, sowohl die Zählung von p und q, als auch die Multiplication des p mit l, und des q mit δ zu vermeiden, ist nicht nur die Zahl der Limbusstriche vom Punkte Ω an durch verschiedene Längen und beigesetzte Ziffern leichter zählbar gemacht, sondern es sind auch den auf dieselbe Weise ausgeführten Theilstrichen des Verniers die Ziffern beigesetzt, welche die aliquoten Theile der Gröfse l darstellen. So ist z. B. für die oben erwähnte Eintheilung der 2te, 4te und 6te Strich nach o länger, als der 1te, 3te und 5te, und auf dem Vernier der 6te, 12te, 18te .... Strich nach o mit den Ziffern 1, 2, 3... bezeichnet, da sie beziehungsweise 1, 2, 3 Minuten darstellen, während dieselben Ziffern auf dem Limbus dann Grade bezeichnen. Durch diese Einrichtung wird daher die Ablesung wesentlich erleichtert.

§. 63.

1. Für den Fall 1 oder 2 a des vorigen Paragraphs ist aber noch zu bemerken, dafs wenn man die Coincidenz zweier Striche gefunden zu haben glaubt, man nie unterlafsen darf, die Gleichheit der Differenzen der vorhergehenden und nachfolgenden Striche mit denen der anderen Theilung zu beurtheilen, indem nur bei diesem Thatbestande, falls das durch die Loupe sehende Auge die richtige Stellung eingenommen hat, auf die Coincidenz geschlofsen werden darf. Deshalb müfsen auch an den Enden des Verniers noch einige Striche über die obige Zahl $n+1$ angegeben sein, welche man Ueberstriche oder den Excedenz des Verniers zu nennen pflegt.

2. Obgleich nun im Allgemeinen aus §. 62. folgt, dafs wenn man die Zahl n oder $n+1$ nur grofs genug wählt, man so kleine Theile der Limbustheilung mittelst des Verniers ablesen kann, als man nur verlangt: so darf doch auch nicht übersehen werden, dafs man jene Zahlen immer so zu wählen hat, dafs δ nicht nur als ganze Zahl, sondern zugleich $q.\delta$ immer als aliquoter Theil von l erscheint, so wie auch, dafs die Theilstriche des Verniers nur so eng gegeneinander und gegen die Limbustheilung stehen dürfen; dafs immer nur einer derselben, nie aber zwei benachbarte zugleich eine Coincidenz erkennen lafsen.

3. Will man umgekehrt angeben, wie viel Theile des Limbus auf dem Vernier in $n+1$ gleiche Theile getheilt werden müfsen, um eine geforderte Angabe des Verniers zu erhalten, so dient dazu der aus §. 62. folgende Ausdruck $n+1=\frac{l}{\delta}$.

§. 64.

Eine zweite Einrichtung des Verniers besteht, wie schon im §. 62. bemerkt wurde, darin, dafs n Theile des Limbus oder eines Mafsstabes nicht in $n+1$, sondern in $n-1$ gleiche Theile getheilt werden, so dafs also $v > l$ ist und deshalb die Zahlen der Theilstriche des Verniers hier in umgekehrter Ordnung

gegen die auf dem Mafsstabe geschrieben werden müfsen. Man erhält wie im §. 62., da $v = \frac{n \cdot l}{n-1}$ ist,

$$v - l = \delta = \frac{l}{n-1}$$

Der Gebrauch eines solchen Verniers, den man dann mit Vortheil anwendet, wenn Mangels an Raum wegen die Theilung des Mafsstabes nicht um die Länge des Verniers, wie es bei der in §. 62. beschriebenen Einrichtung erforderlich wäre, über ihren Endpunkt hinaus verlängert werden kann, und der vorzugsweise bei den Scalen der Barometer zu Höhenmefsungen seine Anwendung findet, ist übrigens der nämliche, wie der bei dem Vernier mit der $n+1$ Theilung.

B. Das Schraubenmikroskop.

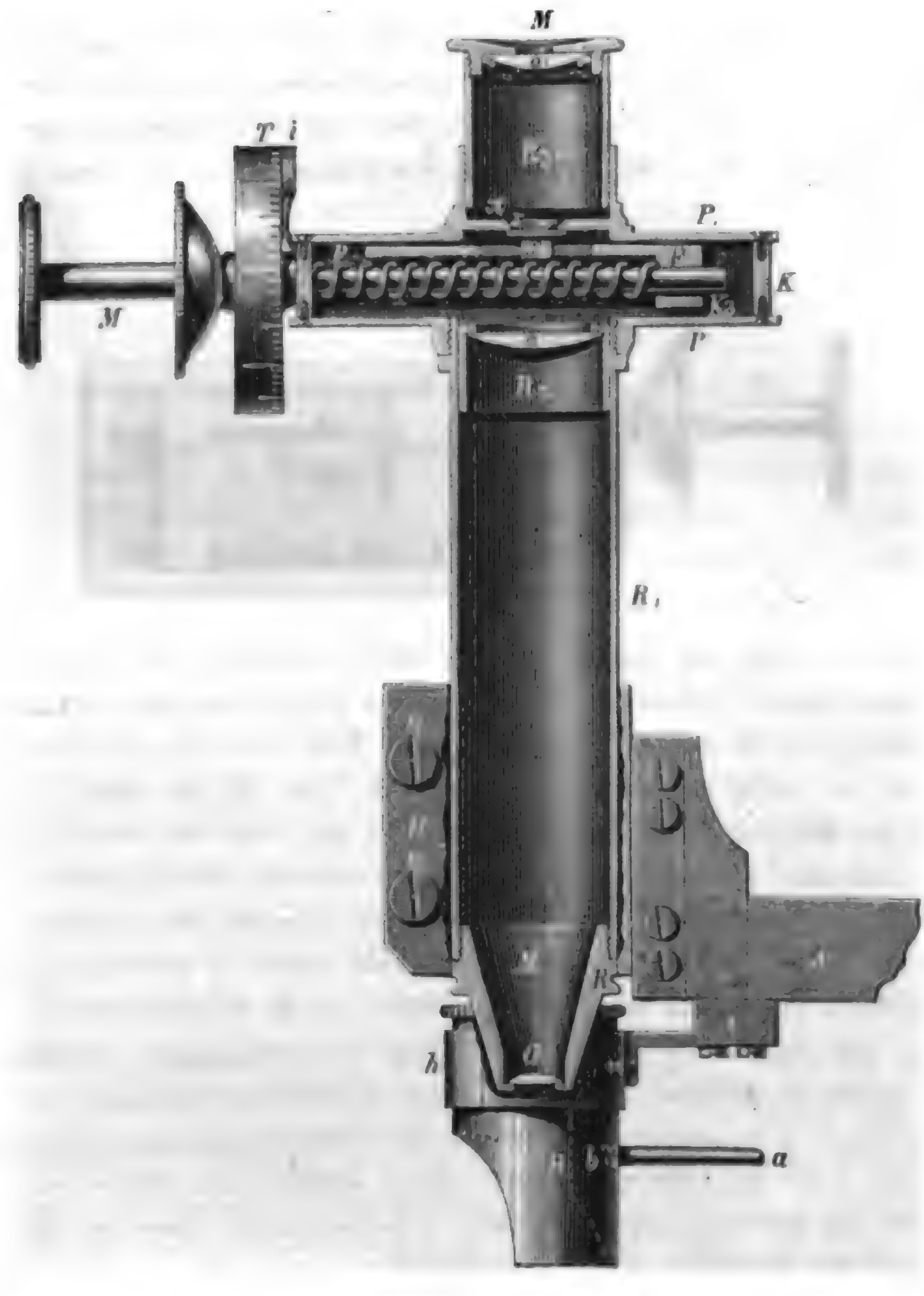
§. 65.

Zur Bestimmung kleinerer Theile der Limbustheilung wendet man in neuerer Zeit bei den gröfseren geodätischen Werkzeugen, wie es bei den astronomischen Meridian- und Verticalkreisen u. s. w. schon länger üblich war, statt der Verniere zusammengesetzte Mikroskope mit eigentlichen Mikrometerschrauben (§. 13. 4.) an und nennt deshalb diese Vorrichtungen Schraubenmikroskope. Die Art der Verbindung derselben mit dem Mefswerkzeuge kann folgende sein. Von dem Mittelstück des Untertheils der Stütze des Fernrohrs gehen zwei oder vier Arme aus (der Mikroskopenträger, das Mikroskopenkreuz), in dem ersten Falle diametral gegenüberstehend, in dem andern sich rechtwinklicht kreuzend, deren Enden eine Hülse zur Aufnahme des Mikroskops tragen, welches in jener bewegt und durch Klemmschrauben so befestigt werden kann, dafs die Theilstriche des Limbus in möglichster Reinheit gesehen werden können. Mit dem Mikroskope ist ein parallelepipedischer Kasten verbunden, der die Mikrometerschraube mit dem beweglichen Fadenkreuze enthält. Die Gröfse der Umdrehung derselben kann an dem 60 gleiche Theile enthaltenden Schraubenkopfe (der Trommel) mittelst eines Index abgelesen werden. Der Werth eines solchen Theiles im Bogenmafs ist, wie nachher gezeigt wird, genau zu bestimmen. Der Nullpunkt der Trommel, oder der ihm zugehörige Ort des Fadenkreuzes, entspricht dann dem Indexpunkte des Verniers. Indem man nun dem Mikroskope in seiner Hülse diejenige Stellung giebt, dafs durch das Anziehen der Mikrometerschraube wachsende Zahlenwerthe der Trommeltheile durchlaufen werden, zugleich aber das Fadenkreuz nach dem nächstniedrigeren Theilstriche ω (§. 62.) des Limbus sich bewegt, so ergiebt sich, dafs man nach dem Einstellen des Fernrohrs auf ein bestimmtes Object durch die erwähnte Drehung der Mikrometerschraube den Ort des Fadenkreuzes oder seinen Abstand vom erwähnten Theilstriche ω im Bogenmafse auf dieselbe Weise bestimmen kann, wie diefs der Vernier durch die

Coincidenz zweier Theilstriche angab. Um aber zugleich den Ort des Fadenkreuzes gegen den Nullpunkt der Limbustheilung (dem Abstande $\Omega\,\omega$ des §. 62. entsprechend) zu erhalten, bewegt sich mit dem Mikroskopenträger zugleich ein Arm mit einem Vernier als Albidade, der die abgeschnittenen Grade und Gradtheile bis zum Theilstriche ω angiebt.

In Fig. 43., welche den Verticaldurchschnitt des Schraubenmikroskops darstellt, bezeichnet O das Objectiv des Mikroskops $M\,M$, dessen Fafsungsröhre R

Fig. 43.



in das Rohr R_1 eingeschraubt ist; letzteres nimmt auch die Hülse R_2 des Collectivglases o auf und ist durch ein Schraubengewinde in dem cylindrischen

der ersteren verstärkt; *e* ist die Gegenmutter zum Feststellen der Centralschraube. Die Messingknöpfe der drei Stellschrauben, oberhalb der Köpfe derselben, treten gegen den Innen cylindrisch ausgedrehten Teller *B B*, mit welchem die Scheibe *C*, die z. B. den Limbus eines Kreises enthalten kann, ein Ganzes bildet. In der erwähnten Ausbohrung wird das Oben in eine Scheibe auslaufende hohle cylindrische Kugellager *a*, nachdem in dem untern sphärisch ausgedrehten Theil die mit der Mutter der Centralschraube versehene Kugel *A* in die gehörige Lage gebracht ist, durch vier Zugschrauben mit *B C B* befestigt. Aufserdem wird auch noch die Kugel durch einen aufgesetzten passenden hohlen Ring in dem Lager gehörig festgehalten. Beim Horizontalstellen des mit *C* verbundenen Mefsapparats wird daher zuerst die Centralschraube etwas gelöst, darauf die Scheibe *C* mittelst der Stellschrauben horizontal gestellt, dann die Centralschraube wieder angezogen und mittelst ihrer Gegenmutter befestigt.

B. Die Horizontalrotation um die erste oder Verticalachse.

§. 80.

Es ist schon im §. 74. erwähnt, dafs das mittlere cylindrische Stück des Dreifufses, zur Aufnahme der anderen nöthigen Theile, meistens durchbohrt ist. Bei Theodolithen und anderen nach demselben Princip gebauten Winkelmefsern, gröfseren Niveau's, Collimatoren u. s. w. ist auch jedenfalls diese Einrichtung anzurathen, da sie den zu bewegenden Theilen eine sehr sichere Rotation gestattet. In diesen Fällen ist an dem oberen zu bewegenden Theile, der Alhidade oder dem Mikroskopenträger bei den Theodolithen, der Trägerplatte bei den Niveau's, der Lagerplatte bei den Mefstischen oder Boussolen u. s. w., ein theils konischer, theils cylindrischer Zapfen, Centralzapfen, die erste oder Verticalachse, von Stahl oder Rothmetall an Flanschen desselben befestigt, welcher sich in einer ebenso geformten Büchse, Centralbüchse, bewegen läfst, die mit dem Dreifufs ein festes Ganzes bildet.

Nur bei tragbaren Passageinstrumenten, bei denen die Mefsung der Horizontal-(Azimuthal-)Winkel eine mehr untergeordnete Rolle spielt, kann die Construction des Dreifufses mit feststehendem Centralzapfen und daher massivem Mittelstück einen Vortheil zu einer bequemeren Aufstellung oder einem bequemeren Transport darbieten. Letztere Einrichtung bringt man auch bei Mefstischen, Boussolen, kleineren Niveau's u. s. w. und auch bei denjenigen Constructionen an, bei welchen der Dreifufs durch eine Nufs vertreten wird, wie solches Fig. 55. und 56. zeigt.

Sollen die vorhin erwähnten Constructionen bei Theodolithen ihre Anwendung finden, so ist der eingetheilte Kreis mit der Büchse des Dreifufses mittelst einer Flansche zu einem selbstständigen Ganzen zu verbinden; selbstverständlich gestattet aber der Winkelmefser alsdann, bei unveränderter Lage des Dreifufses, nur eine einmalige Mefsung des Horizontal- oder Azimuthal-Winkels. Sobald indessen

§. 66.

Bestimmung des Werthes des Schraubenganges im Bogenmafs und Ablesung des Schraubenmikroskops.

1. Das hier in Rede stehende Schraubenmikroskop gehört zu dem Meyersteinschen Theodolith, dessen 14zölliger Limbus in Zehntelgrade getheilt ist und bei welchem das Mikroskopenkreuz mit dem Fernrohr gegen den festgestellten Horizontalkreis sich dreht. Da bei dieser Drehung des Fernrohrs von einem linksliegenden nach einem rechtsliegenden Objecte, von dem Einstellungsorte aus gesehen, das Fadenkreuz die Theilstriche von Rechts nach Links in wachsender Bezifferung durchläuft, so wird, wie beim Vernier, der Abstand des Ortes des Index vom zunächst rechtsliegenden Theilstriche zu bestimmen sein; wegen der Umkehrung der Bilder durch das Mikroskop aber wird der Beobachter den Abstand des Index vom zunächst linksliegenden Theilstriche zu bestimmen haben und bei der Lage der Trommel nach Links hin, durch Anziehen der Mikrometerschraube das Fadenkreuz nach eben demselben Striche hin sich bewegen. Damit aber auch die Köpfe der anderen Schraubenmikroskope nach derselben Richtung gedreht werden können, müfsen die Köpfe aller Mikroskope nach derselben Richtung, nämlich nach der Richtung der wachsenden Bezifferung im Kreise herum liegen.

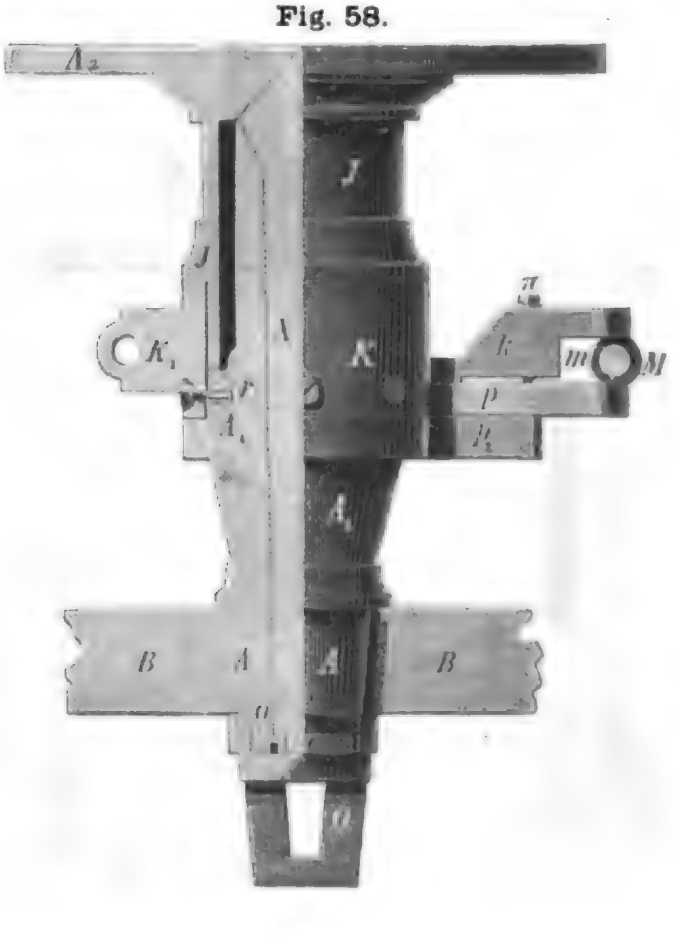
Für das Intervall von 6 Minuten giebt das in Rede stehende Schraubenmikroskop nahe 2 Umdrehungen, mithin 1 Trommeltheil nahe 3 Sekunden an. Um nun den Werth eines Schraubenganges oder eines Trommeltheils im Bogenmafs zu erhalten, bringe man durch Lösen der Mikrometerschraube das Fadenkreuz auf den Theilstrich rechts, dann durch Anziehen derselben auf den Theilstrich links und lese in beiden Fällen den Stand des Index der Trommel ab, so erhält man, da bei der zweiten Drehung die Trommeltheilung wächst, wenn man die erste Ablesung von der zweiten abzieht, die Anzahl der Trommeltheile, welche dem Intervall von 6 Minuten entsprechen und daraus also auch den Werth eines Trommeltheils in Sekunden dargestellt. Gebe z. B.

die erste Ablesung an der Trommel 46,1,
die zweite Ablesung an derselben 48,2,

so entsprechen 6 Minuten oder 360 Sekunden $2\frac{2,1}{60}$ Umdrehungen oder 122,1 Theilen der Trommel, mithin ist 1 Trommeltheil $= \frac{360}{122,1} = 2,9484$ ... Sekunden. Hätte dagegen umgekehrt die erste Ablesung 48,2, die 2te 46,1 betragen, so würden 360 Sekunden $1\frac{57,9}{60}$ Umdrehungen oder 117,9 Theilen der Trommel, mithin 1 Trommeltheil $= 3,275$ Sekunden entsprechen. Stellt man nun solche Einstellungen und Ablesungen durch die ganze Kreisperipherie von 10 zu 10 Graden an, so kann man sich dadurch den Mittelwerth für jeden einzelnen Quadranten oder auch den für den ganzen Umkreis verschaffen. In letzterem Falle giebt das in Rede

zeigt den Durchschnitt. Mit dem Cylinder A des Dreifufses (§. 74.) ist die Büchse A_1 mittelst Schrauben verbunden; letztere bildet wieder mittelst einer Flansche mit dem mittleren Konus des Horizontalkreises H und seinen Speichen ein Ganzes, während die Verticalachse X mittelst ihrer Flansche x mit der Alhidade H_1 und deren Speichen zu einem Stück verbunden ist. Hieraus ergiebt sich daher die Horizontalrotation der Alhidade gegen den Limbuskreis. Jene wird von einer plattenförmigen Tragfeder I, deren 3 Arme mittelst Schrauben ii in den Armen des Dreifufses befestigt und verstellbar sind, getragen und kann durch dieselbe so gestellt werden, dafs die Verniers der Alhidade mit dem Limbus in einer zum genauen Ablesen passenden Höhe liegen. Eine gleichbleibende Spannung der Tragfeder erhält man durch Spiralfedern, die zwischen den Enden der ersteren und den unteren Armflächen so angebracht sind, dafs sie die Schrauben umgeben. Zum Festhalten der Verticalachse gegen den Dreifufs, enthält der Cylinder A desselben auf seiner Unterfläche einen Fortsatz v, gegen welchen mittelst der Mutter v_1 die in ein zugehöriges Schraubengewinde auslaufende Achse X gegen den Dreifufs und seine Büchse mehr oder weniger stark geklemmt werden kann. S_1 S_1 bezeichnen die Grundlagen der Stützen SS des Fernrohrs, welche mittelst Zugschrauben auf der Alhidade befestigt sind; M die Klemme für die Schraubenmutter des Mikrometerwerks der Alhidade (§. 97.) und h den auf der Oberfläche der Alhidade befindlichen Cylinder, auf welchen der Ring des Loupenhalters gesteckt wird. Um endlich die obere Last des Fernrohrs und Zubehörs auf die Verticalachse zu versetzen, wird das durch den Cylinder h hervortretende obere Ende desselben von einer starken plattenförmigen Feder φ umgeben, deren Enden unter die Köpfe zweier Schrauben treten, die auf S_1 S_1 befestigt sind und durch deren Stellung die Spannkraft der Feder moderiert werden kann.

Fig. 58.



§. 82.

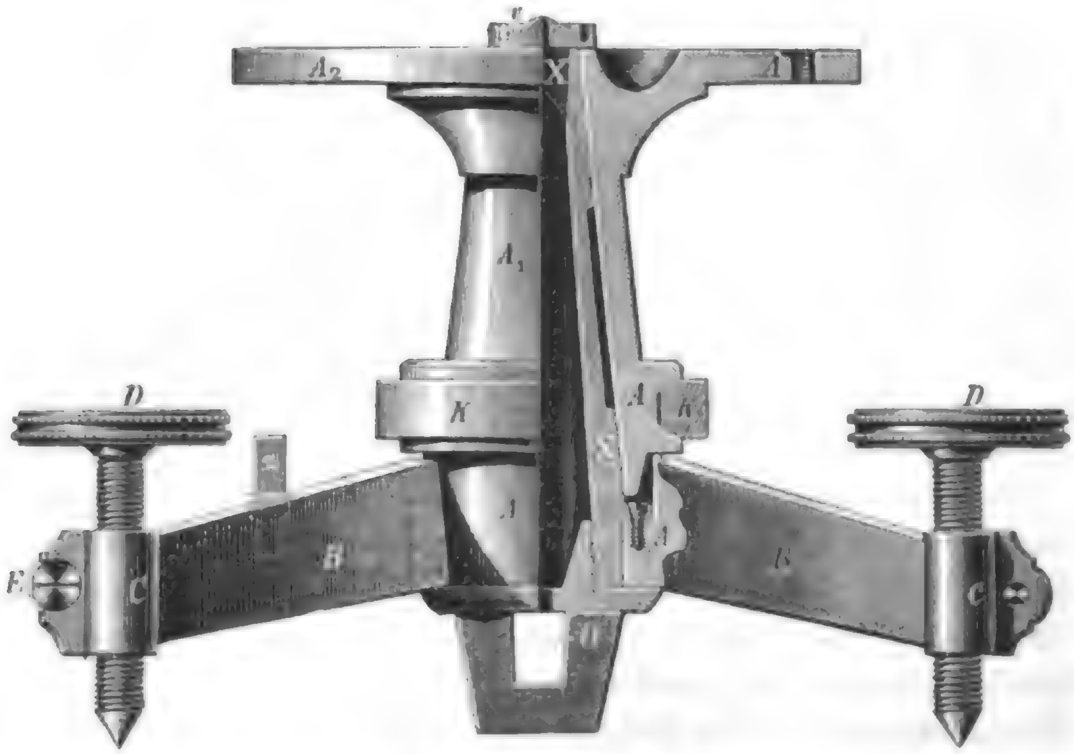
In Fig. 58. ist der Untertheil zu einem gröfseren Niveau dargestellt, deren linke Hälfte im Durchschnitt die einzelnen Theile zeigt. Auch hier ist, wie in der Zeichnung des vorigen Paragraphen die Verticalachse X mit dem Mefsapparat

in der Büchse $A_1 A_1$ des Dreifufses beweglich. Letztere bildet mit dem Cylinder AA des Dreifufses und dessen Armen BB ein Ganzes, während die Achse X mit der cylindrischen Scheibe A_2, auf welcher der Mefsapparat befestigt wird, und dem hohlen Mantel II zu einem Ganzen zusammengesetzt ist, so dafs demnach die Horizontalrotation des Mefswerkzeugs sich hieraus ergiebt. Zum Festhalten der Verticalachse gegen den Dreifufs hat letzterer in seinem mittleren Stück einen Fortsatz o, durch welchen das untere mit einem Schraubengewinde versehene Ende der Verticalachse tritt. Durch eine aufgeschraubte Mutter werden beide Theile gegen einander festgehalten, ohne aber die Rotation zu verhindern. In die eingeschnittenen Schraubengänge des Cylinders o greift die Mutter der Oese O, die nach §. 70. und Fig. 49. zur Verbindung des Apparats mit dem Stativ dient. Zur Aufhebung der Rotation des Mefsapparats dient ein an einer Seite aufgeschlitzter Klemmring K, der auf einer Flansche A_1 ruht, den unteren Theil des Mantels I umschliefst und an den Enden des Schlitzes zwei prismatische Ansätze K_1 enthält, durch welche eine Klemmschraube tritt, mittelst welcher die Rotation des Mantels und somit auch des Mefsapparats gehemmt wird. Zur Mikrometerbewegung desselben findet sich den Ansätzen K_1 diametral gegenüber die Klemme M der Schraubenmutter m der Mikrometerschraube, von welcher k den Kloben, p die von dem Klemmringe ausgehende Lagerplatte bezeichnet. Eine eben solche, von der erwähnten Flansche ausgehende Lagerplatte p_1, die daher mit der Büchse des Dreifufses ein Ganzes bildet, trägt die Kugel der Mikrometerschraube. Endlich ist zur sicheren rotierenden Bewegung des Klemmringes auf A_1 eine Rille r eingeschnitten, in welche Stifte treten, die in K durch Schraubengänge festgehalten werden. (S. §. 95.)

§. 83.

Die in Fig. 59. dargestellte Construction unterscheidet sich vorzugsweise dadurch von denen der beiden vorigen Paragraphen, dafs mit dem Mittelstück AA des Dreifufses BAB der Centralzapfen XX mittelst einer Flansche ein Ganzes bildet und dafs um den Zapfen die Büchse $A_1 A_1$ nebst der Scheibe $A_2 A_2$ gedreht werden kann. Sie bildet den Untersatz eines Mefstisches, ist besonders durch die Art der Hemmung der groben Achsenumdrehung empfehlenswerth und von dem Mechaniker Frerk u. Sohn angegeben. Die Feststellung der Scheibe $A_2 A_2$ mit dem Centralzapfen erfolgt hier auf der Oberfläche der ersteren mittelst der Mutter v, die auf den vorstehenden Zapfen geschraubt wird. O bezeichnet die Oese zur Verbindung des Dreifufses mit dem Stativ durch die im §. 71. beschriebene und in Fig. 50. dargestellte Construction. Zur Hemmung der groben Horizontalbewegung enthält der untere Theil der Büchse $A_1 A_1$ eine starke Flansche, an deren äufserem Rande eine aus einem Cylindermantel und zwei Kegelmänteln zusammengesetzte krumme Fläche ausgedreht ist, auf welche letztere beide, nach ausgeführter Klemmung, der Innen eben so abgedrehte starke

Fig. 59.



Klemmring K sich legt, wodurch eine vorzügliche Hemmung bewirkt wird. Endlich bezeichnet z einen in dem einen Arme des Dreifufses befestigten Anschlagzapfen, an dessen eine Seite die zum Mikrometerwerk gehörige Druckfeder, an dessen andere Seite aber das Ende der Mikrometerschraube sich legt. (Vgl. §. 96.)

II. Das zweifache Achsensystem der Horizontalrotation.

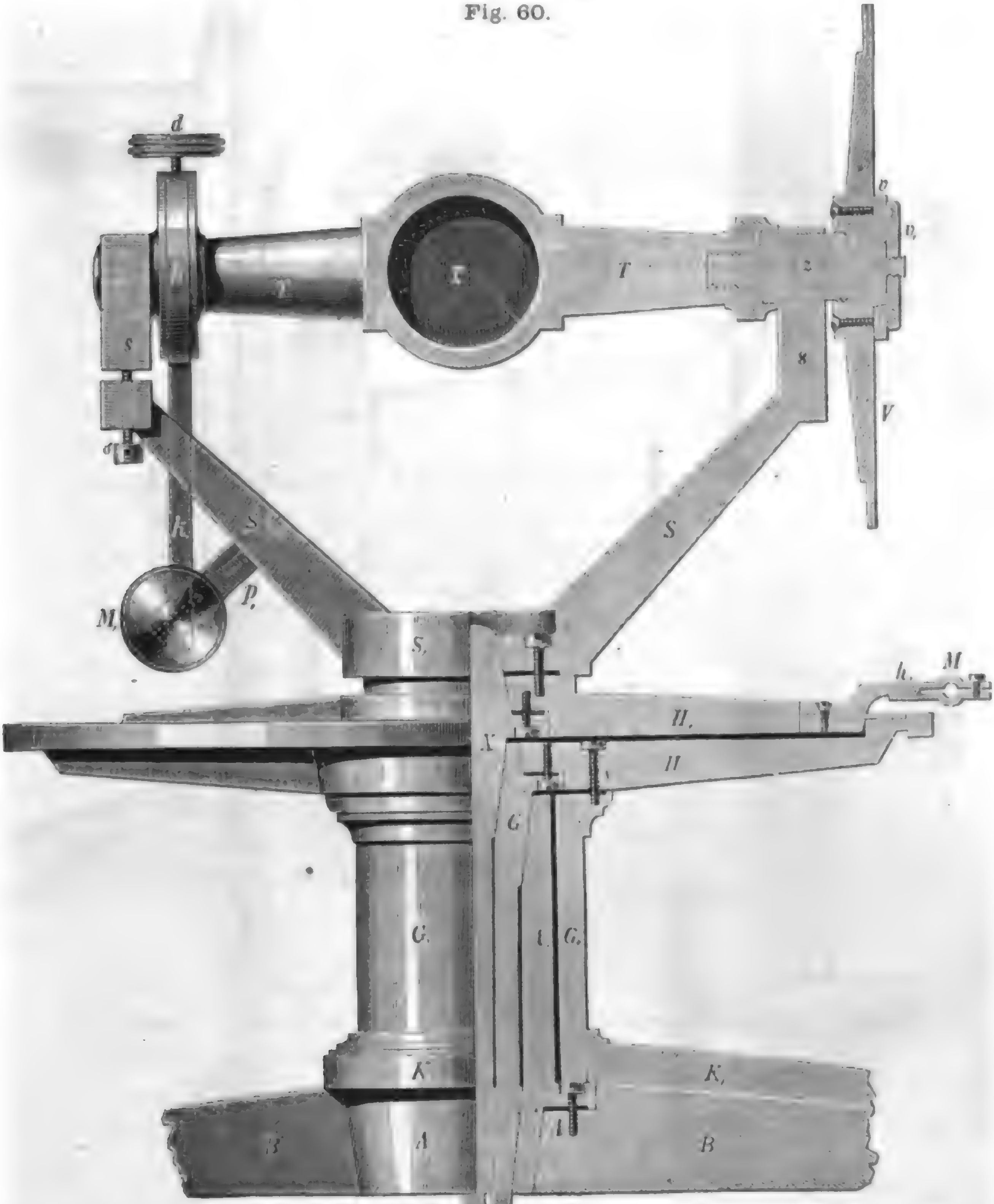
§. 84.

Wie schon im §. 80. erwähnt, unterscheiden sich die hier folgenden Constructionen von den unter I betrachteten, dafs aufser der Haupt- oder Verticalachse (dem Centralzapfen) und der Büchse des Dreifufses noch eine zweite ausgebohrte Achse vorhanden ist, in welcher die erstere rotiert und die in der letzteren ebenfalls eine Horizontaldrehung gestattet. Diefs System kommt nur bei den eigentlichen Winkelmefsern vor, während das erstere auch bei anderen Mefs- und selbst einigen Hülfsapparaten seine Anwendung findet. Die Metalle oder Metallcompositionen der Achsen müssen der geringeren Abnutzung wegen, stets verschieden sein. Bei dem hier in Rede stehenden Achsensystem wählt man von Innen nach Aufsen, Stahl, Rothgufs und Messing, bei dem einfachen Achsensystem meistens Rothgufs und Messing. Die angedrehten Flanschen haben selbstverständlich mit dem Flanschenhalter dasselbe Metall.

Die in Fig. 60. dargestellte Construction bezeichnet einen Theil eines vom hiesigen Mechaniker Klindworth construierten 8zölligen Repetitionstheodoliths. Mittelst der Flanschen ist der Zapfen X mit dem mittleren Konus, den Speichen und dem Rande der Alhidade H_1, die durchbohrte Achse G mit dem Konus, den Speichen und dem Rande des Limbuskreises H, so wie aufserdem noch mit dem

Mantel G_1, und endlich die Büchse A_1 mit dem Mittelstück A des Dreifufses zu einem Ganzen verbunden, so dafs A_1 noch von G_1 umgeben wird, wodurch die Hemmung des Horizontalkreises möglichst in das Centrum verlegt werden kann. Aufserdem bildet mit dem mittleren Theile der Alhidade der Innen ausgedrehte Cylinder S_1 ein Stück, von welchem die Stützen SS des Fernrohrs auslaufen. M und M_1 bezeichnen die vorderen Theile der Mikrometerwerke für die Alhidade und die Horizontalachse des Fernrohrs, K und k die Ringe für die Hemmungen der groben Achsenumdrehungen. (Vgl. §. 101.)

Fig. 60.



§. 85.

Die Construction der Fig. 61. stellt die wesentlichen Theile eines Breithauptschen astronomischen Theodoliths in der Zusammensetzung dar, wie er zum Horizontal-

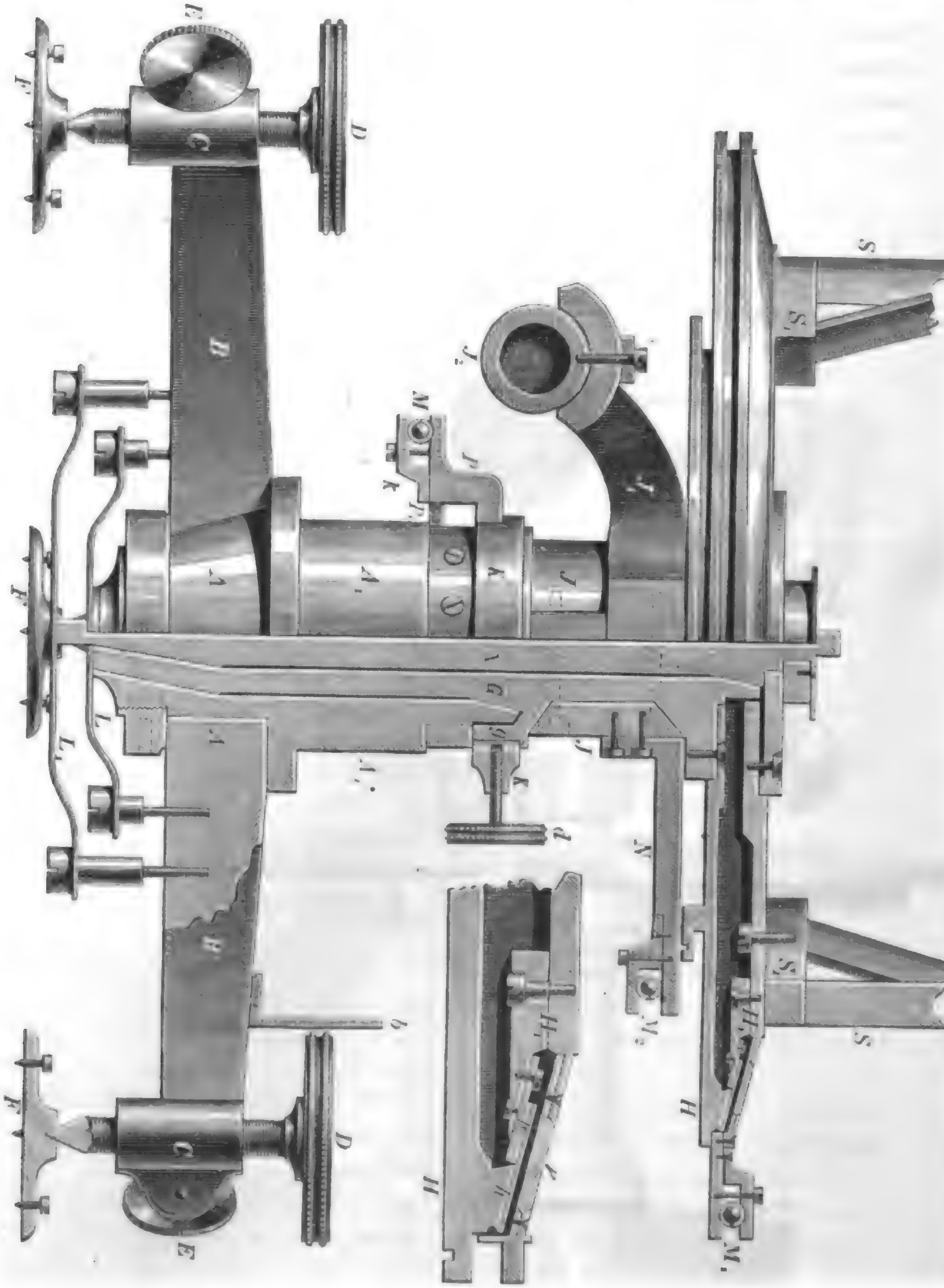


Fig. 61.

winkelmefsen dient. Daher bildet der Dreifufs mit seinen Stellschrauben DD, Klemmschrauben EE, und den unter denselben befestigten Tragfedern LL_1 ein Stück für sich. Mit demselben wird das Gesammtachsensystem nebst dem Aufsatz der Alhidade mittelst einer untergeschraubten Mutter dadurch verbunden, dafs der untere cylindrisch abgedrehte und in Schraubengänge ausgehende Theil der äufseren Büchse A_1 in die ebenso geformte Ausbohrung des Mittelstücks des Dreifufses gesteckt und dann die erwähnte Mutter aufgeschraubt wird. Sonst ist, wie in Fig. 60., auch hier die Flansche des Zapfens X mit der Alhidade H_1, so wie die der ausgebohrten Kreisachse G mit dem Limbuskreise H zu einem Ganzen vereinigt. Nur sind hier die Mittelstücke des Limbuskreises und der Alhidade mit ihren Rändern nicht durch Speichen verbunden, sondern es besteht der erstere aus einer ausgedrehten Scheibe, deren erhöhter Rand konisch abgedreht ist und den silbernen Limbus h trägt. Ebenso besteht auch die Alhidade aus einer Innen ausgedrehten Scheibe, deren Bord den Kreisrand überragt, wodurch die Theilung wesentlich vor Beschädigung geschützt wird. Auch sind hier nicht die Silberplatten h_1 der Verniers, wie es jedenfalls zweckmäfsiger ist, in den Rand der Alhidade eingelafsen, so dafs sie damit ein unwandelbares Ganzes bilden, sondern in Ausschnitten der Alhidade so mittelst Druck- und Zugschrauben festgeschraubt, dafs ihre obere konische Fläche mit der des Kreisrandes in eine konische Fläche fallen. Aufserdem wird mittelst geschliffener Gläser γ in Rahmen, die durch kleine Schräubchen auf der Unterlage befestigt werden, sowohl den Vernierplatten, als dem Limbus Schutz gewährt. Gröfserer Deutlichkeit wegen sind die äufseren Ränder des Kreises und der Alhidade in der seitlichen Zeichnung in natürlicher Gröfse dargestellt. Beide Achsen, X und G werden von den oben erwähnten Federn LL_1 getragen. Die Hemmung der Rotation des Kreises geschieht durch eine Druckschraube d, die durch einen umgelegten Ring K gegen einen stählernen Bremsring tritt, der gegen einen mit der Kreisachse G verbundenen Mantel g und nicht gegen die äufsere Fläche der Kreisachse selbst getrieben werden kann. M stellt einen Theil des zugehörigen Mikrometerwerks dar, indem p die mit K, p_1 aber die mit A_1 verbundene Grundplatte und k den Kloben der ersteren bezeichnet. M_1 bezeichnet den vorderen Theil des Mikrometerwerks der Alhidade.

Aufserdem enthält der hier dargestellte Apparat die Einrichtung zur Mefsung der Winkel nach der s. g. doppelten Repetitionsmethode. Hierzu dient ein zweites, s. g. unteres Fernrohr, das nicht nur an den eingetheilten Limbuskreis geschlofsen, sondern auch unabhängig von demselben rund um dessen Achse mufs bewegt werden können. Zu diesem Zwecke ist die äufsere Fläche der Kreisachse oberhalb des vorhin erwähnten Mantels g und unterhalb ihrer Flansche in zwei konische Flächen abgedreht, zwischen sich eine cylindrische Mantelfläche enthaltend. Um diese drei Flächen legt sich ein aus zwei Stücken II bestehender cylindrisch-prismatischer Körper, welche Stücke durch vier starke versenkte

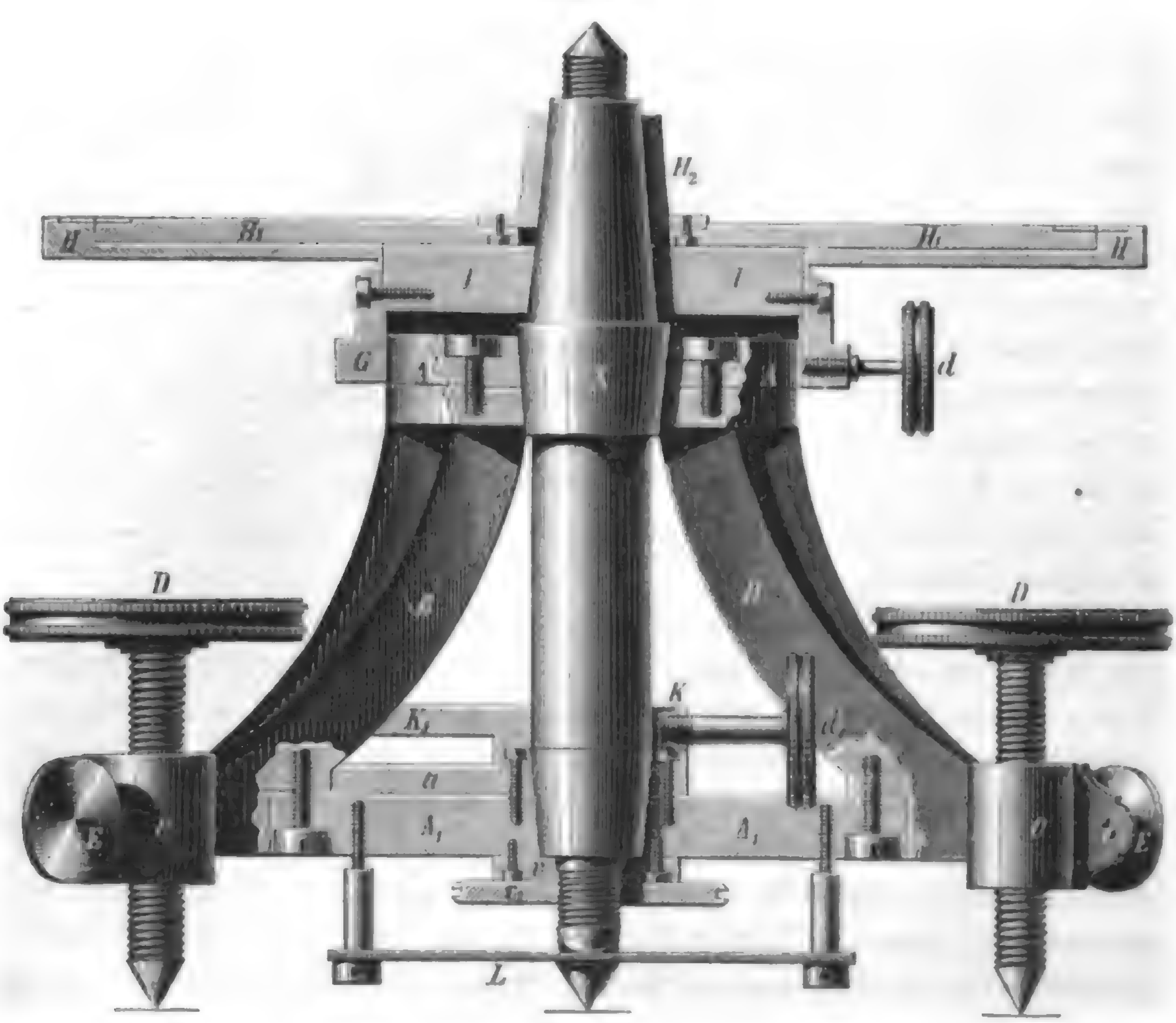
Schrauben vereinigt werden können, zugleich aber eine Rotation um die Kreisachse gestatten. Das eine Stück trägt einen gebogenen Arm I_1 mit dem Ringe für die Hülse I_2 der Achse des Fernrohrs; letztere läuft in ein Schraubengewinde aus, durch dessen aufgeschraubte Mutter nebst Unterlegscheibe das Fernrohr befestigt werden kann, ohne dessen Bewegung in einer Verticalebene zu hindern. Mit dem anderen Stücke ist durch versenkte Schrauben ein Arm N verbunden, durch welchen die Hemmung und Mikrometerbewegung des Fernrohrs möglich gemacht wird. M_2 ist ein Theil des zugehörigen Mikrometerwerks.

Anmerkung. Im Allgemeinen ist die Construction die nämliche, wenn das erwähnte Fernrohr nur zur Versicherung des festen Standes des Kreises während der Rotation der Alhidade dienen soll, nur wird alsdann dessen Büchse nicht mit der Kreisachse, sondern mit der Büchse des Dreifufses in Verbindung gebracht.

§. 86.

Die in Fig. 62. dargestellte Construction verdient bei einigen Mängeln deshalb hier einer besonderen Erwähnung, weil bei ihr die Alhidadenhemmung nicht, wie es sonst immer der Fall ist, am äufseren Rande des Limbuskreises, sondern an dem Verticalzapfen X angebracht ist und dadurch beide Kreise an ihrer Peripherie ganz frei sind. Der Verticalzapfen ist aber nicht mittelst einer Flansche mit dem

Fig. 62.



konischen Mittelstück H_2 der Alhidade H_1 verbunden, sondern er ist in H_2 eingetrieben, ein Verfahren, was jedenfalls hinsichtlich der Unwandelbarkeit dem gewöhnlichen nachsteht.

Aufserdem unterscheidet sich auch die Form des Dreifufses sehr von der gewöhnlichen. Die ausgebogenen und stark geneigten Arme BB vereinigen sich mit dem ausgebohrten Cylinder AA. Um diesen ist die Büchse G mit dem konisch durchbohrten Cylinder II und dem Kreise H um den stählernen Zapfen X drehbar, während dieser mit der Alhidade H_1 rotieren kann. Durch die Druckschraube d, deren Ende gegen einen in G gelegten Stahlring tritt, wird die Rotation des Kreises gehemmt, ohne dafs aber durch ein Mikrometerwerk eine feine Einstellung möglich ist. Es können daher die Winkel zwar von verschiedenen Punkten der Theilung aus, nicht aber durch Repetition bestimmt werden. Die unteren Enden der Arme BB sind durch drei Platten $A_1 A_1$ in der Mitte zu einer Scheibe verbunden, durch welche der Centralzapfen X geht und auf welcher die Grundplatte a ruht. Auf letzterer bewegt sich der den Zapfen X umgebende Ring K mit seinem Fortsatze K_1. Durch die Prefsschraube d_1 kann die Rotation der Alhidade und des Zapfens gehemmt, die sanfte Bewegung aber durch ein Mikrometerwerk erreicht werden, dessen Klemmen die Grundplatte a und der von dem Ringe K auslaufende Arm K_1 enthalten.

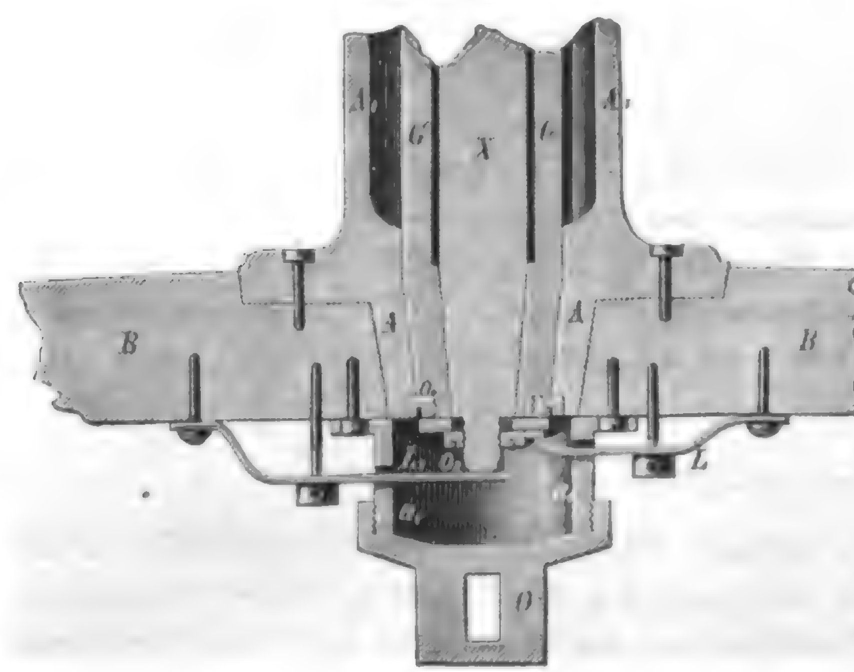
Auf das Mittelstück H_2 tritt die Büchse, welche die Stützen des Fernrohrs enthält. Die Verticalachse X wird von der Feder L getragen, durch die Mutter v_1 aber, welche gegen das vorspringende Stück v tritt, gegen den Dreifufs fest gehalten.

§. 87.

Bei dem Mefstisch, der Boussole, den Nivellierwerkzeugen und selbst kleineren Theodolithen pflegt man dem durch längeren Gebrauch etwa eingetretenen Einsinken des Verticalzapfens, durch Anbringung einer hinreichend starken Tragfeder nicht weiter entgegenzuwirken, da dasselbe bei Mefsungen mit den genannten Instrumenten keinen nachtheiligen Einflufs ausübt. Diefs würde aber bei gröfseren Theodolithen, selbst wenn sie nur die einfache Winkelmefsung gestatten, wegen der möglichen genaueren Ablesung der Winkel nicht angenommen werden dürfen, weil durch das tiefere Einsinken der Alhidade und ihrer Verniere gegen den unverändert gebliebenen Limbuskreis eine weniger genaue Ablesung möglich ist. Deshalb läfst man bei gröfseren Theodolithen, die ihres bedeutenden Gewichts wegen nicht mit dem Stativ fest verbunden zu werden brauchen, den Verticalzapfen auf einer starken Tragfeder ruhen, wie Figg. 53. u. 60. diefs zeigen. Durch Anziehen der Schrauben, mit welchen die Feder unter den Armen des Dreifufses befestigt ist, kann man dann leicht den Verniers die zum genauen Ablesen erforderliche Höhe geben. Bei solchen Theodolithen aber, die ihres geringeren Gewichts wegen mit dem Stativ fest verbunden werden müfsen, stützt man den Zapfen auf eine

kugelkalottenartig gebogene Feder, die man auf den Boden der Innen ausgedrehten Oese legt und sucht dann dem eingetretenen Einsinken der Alhidade durch Anziehen der Mutter, falls diefs überhaupt die an dem unteren Fortsatz des Dreifufses eingeschnittenen Schraubengänge zulafsen, entgegen zu wirken. Dafselbe Verfahren mufs man auch bei den mit einem zweifachen Achsensystem eingerichteten kleineren Theodolithen anwenden, während bei den gröfseren Apparaten, wie dies Fig. 60. zeigt, zwei Tragfedern zur Anwendung kommen, die leicht eine Verstellung ihrer aufruhenden Achsen nebst Kreisen gestatten. Wie man nun aber bei Theodolithen der letzteren Art, die indefsen zum Transport mit dem Stativ mit einer untergeschraubten Oese versehen sein müfsen, auf eine bequeme Weise dem eingetretenen Einsinken der Alhidade abhelfen kann, zeigt die in Fig. 63. angegebene Construction eines Theils eines Dreifufses $B\,A\,A\,B$ mit den

Fig. 63.



beiden Verticalachsen $G\,G$ und X. Mittelst einer Flansche ist an der Unterfläche des mittleren Theils des Dreifufses ein Unten offener hohler Cylinder $a_1\,a_1$ befestigt, durch dessen Seitenwand die an dem Dreifufse befestigten Tragfedern L und L_1 treten, von denen die erstere den vortretenden Rand der Kreisachse $G\,G$, die letztere den Verticalzapfen X hält und durch Zugschrauben beliebig gestellt werden können. Durch die untergeschraubte Mutter o_1 wird die Achse $G\,G$ gegen den Dreifufs und durch die Mutter o_2 der Verticalzapfen gegen $G\,G$ gehalten, so wie durch die an dem unteren Ende des Cylinders $a_1\,a_1$ eingeschnittenen Schraubengänge die Oese O an dem Apparat zur Verbindung desselben mit dem Stativ befestigt werden kann.

C. Die Verticalrotation um die zweite oder Horizontalachse.

§. 88.

Der Hauptzweck bei der Verticalrotation ist die Bewegung des Fernrohrs in einer Ebene, die zu der Ebene, welche die mit der ersten Achse verbundenen Theile darstellen, normal steht. In den meisten Fällen bewegt sich mit dem Fernrohr zugleich der Verticalkreis, oder, wie bei den kleineren Theodolithen, den Meſstischen und Boussolen, ein Theil desselben, während der Vernierkreis oder die Vernierplatten oder die Indexplatte an der Unterlage des Fernrohrs befestigt ist. Wie schon im §. 57. bemerkt wurde, liegt bei den Winkelmeſsern mit fester Unterlage das Fernrohr entweder mit zwei cylindrischen Stahlzapfen (oder Glaszapfen) seiner Umdrehungsachse in zwei Achsenlagern mit *y* förmigen Ausschnitten, und ist wieder theils in der Mitte, theils an dem einen Ende der doppeltkonischen Rotationsachse befestigt; oder es liegt mit einer einseitigen konischen Achse in einer Büchse, die meistens mit einer Säule ein Ganzes bildet. Die erstere Construction findet sich bei allen gröſseren Winkelmeſsern mit eingetheiltem Kreisrande, zuweilen auch bei einzelnen Kippregeln des Meſstisches; die letzteren bei den Boussolen, den meisten Kippregeln des Meſstisches und dem s. g. unteren- und Versicherungs-Fernrohr.

In Bezug auf den Verticalkreis haben aber alle die erwähnten Constructionen nur ein einachsiges Rotationssystem, und in der That ist dieſs auch bei den meisten geodätischen Operationen, selbst bei astronomischen Höhenmeſsungen ausreichend. Nur bei terrestrischen Höhenmeſsungen kann es insbesondere bei gröſseren Arbeiten wünschenswerth erscheinen, von verschiedenen Punkten des Limbus aus die Höhenwinkel zu bestimmen. Dann ist entweder der Vertical- oder Vernierkreis mittelst einer Flansche an einer besonderen Büchse befestigt, die um die Rotationsachse des Fernrohrs eine Drehung und feine Einstellung gestattet, oder es findet sich dieselbe Einrichtung, wie bei den Horizontalwinkelmeſsern, daſs nämlich das mit dem Vernierkreise verbundene Fernrohr mit dem Centralzapfen in der Achse des Limbuskreises, diese aber wieder in der äuſseren Büchse eine Umdrehung gestattet, welche mit einer drehbaren Vertical-Säule des Dreifuſses in Verbindung steht.

§. 89.

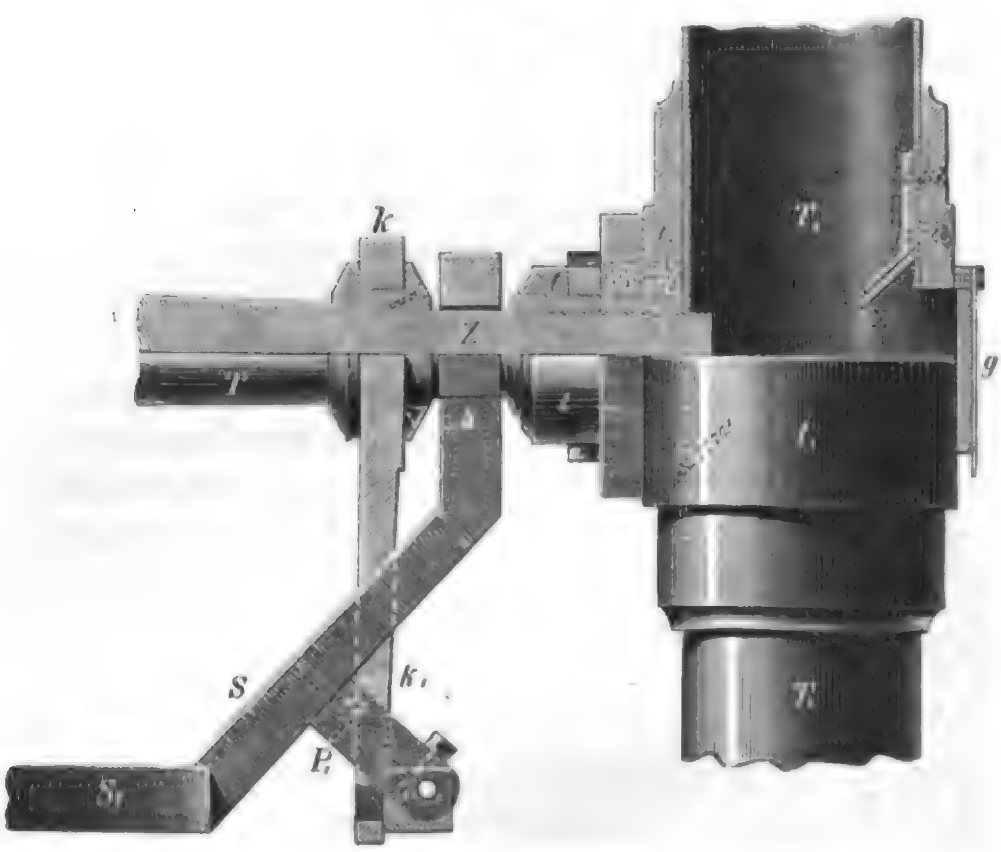
Mit den in Fig. 60 dargestellten Stützen *SS* des in der Mitte der Umdrehungsachse *TT* befestigten Fernrohrs T_1 sind die beiden Achsenlager *ss* zur Aufnahme der Stahlzapfen *z* verbunden. Letztere sind in die kegelförmigen Körper *TT* eingeschraubt. Auf den einen derselben ist eine Flansche geschraubt, auf welche der Verticalkreis geschoben ist, der durch die Vorlegscheibe *v* und die Mutter v_1 dann mit der Umdrehungsachse ein Ganzes bildet. An dem entgegengesetzten Ende der letzteren findet sich der Ring *k* nebst der Preſsschraube *d* zur Hemmung der groben Bewegung, während der mit dem Ringe verbundene

Arm k_1 zur feinen Einstellung dient (§. 101.). Da aber von dem Künstler der Forderung, die Achsenlager von genau gleicher Höhe zu verfertigen, nicht vollkommen genügt werden kann: so wird das eine derselben, wie Fig. 78. vollständiger zeigt, aus zwei verschiedenen Stücken verfertigt, von denen das obere auf den beiden Druckschrauben $\sigma\sigma$ liegt und mit dem unteren, an der einen Stütze befestigten Stücke durch die Zugschraube σ_1 fest verbunden werden kann, so daſs also die genannten drei Schrauben als Correctionsschrauben zu betrachten sind.

Eine von der vorigen wesentlich nicht verschiedene Construction zeigt das in Fig. 35. (s. S. 64) dargestellte gebrochene Fernrohr, dessen Achsenlager $s\,s$ auf den Stützen SS ruhen und dessen Verticalkreis V durch Schrauben an einer Flansche der Umdrehungsachse befestigt ist; L bezeichnet den einen Loupenarm, welcher mit seinem Ringe an dem einen äuſsersten Ende der Rotationsachse angebracht ist.

Endlich ist hier auch noch der in Fig. 64. dargestellten Construction zu erwähnen, in welcher die Rotationsachse T des Fernrohrs $T_1\,T_1$ ebenfalls in zwei

Fig. 64.



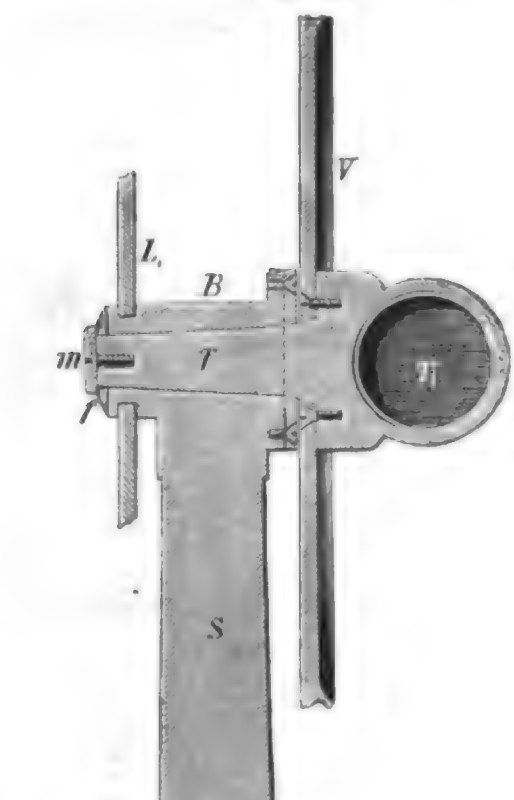
Lagern liegt, von denen das eine s hier gesehen wird. An demselben Ende der Rotationsachse ist das für astronomische Beobachtungen dienende Fernrohr mit seiner Hülse t_1 befestigt, indem letztere an der Flansche des auf den Zapfen geschraubten Cylinders t mittelst starker Zugschrauben gehalten wird. Zur Beleuchtung des Fadenkreuzes ist im Innern der Mitte des Rohrs an einer Platte

ein für den Gang der Lichtstrahlen gehörig ausgeschnittener Spiegel Σ befestigt, während der spiegelnden Fläche gegenüber die Hülse des Fernrohrs eine mit einem Glasdeckel g verschliefsbare kreisförmige Oeffnung enthält, durch welche das von einer vorgesetzten Lampe ausgehende Licht auf den Spiegel gelangt und von ihm nach dem Fadennetze reflectiert wird.

§. 90.

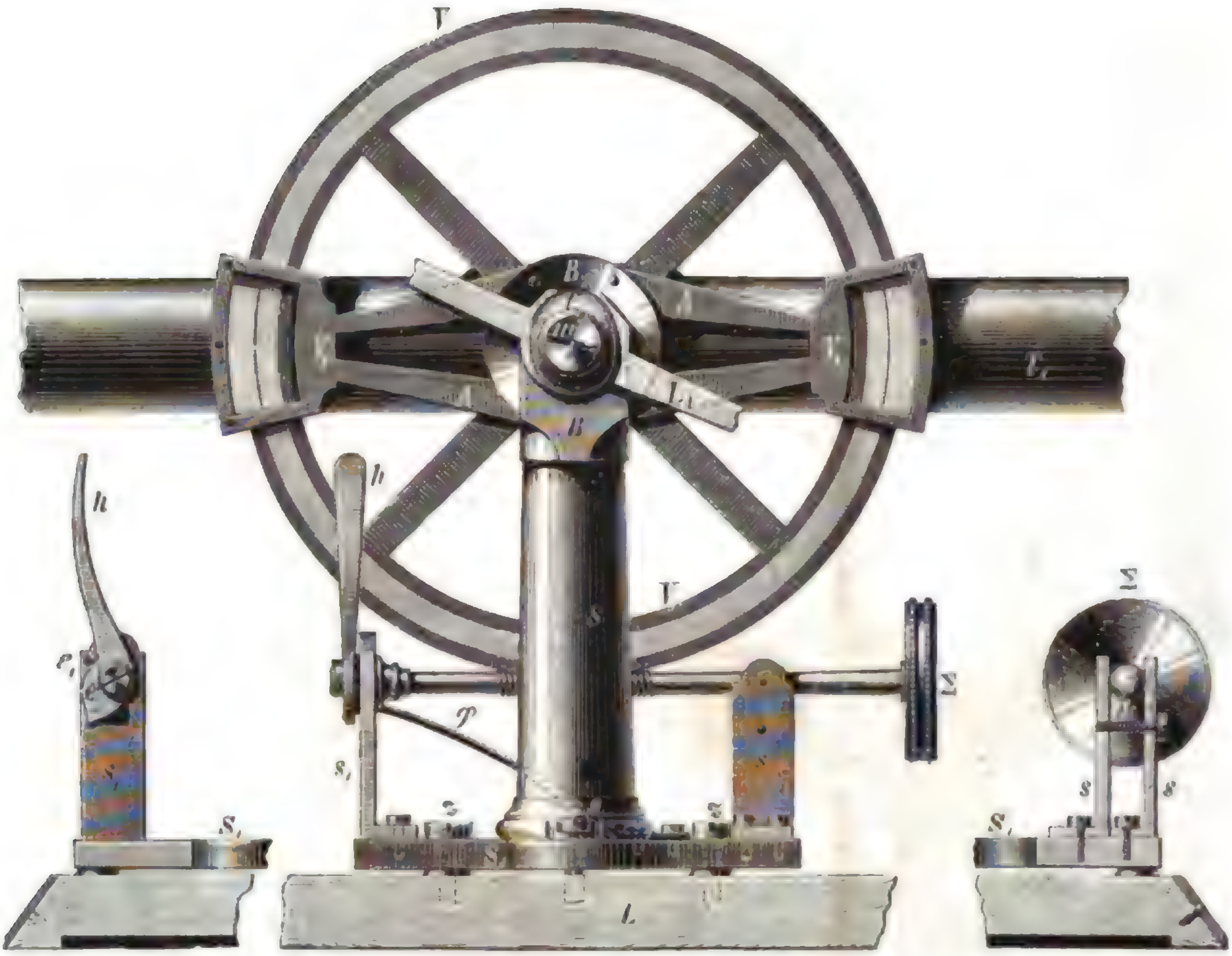
Die in den Figg. 65. und 66. dargestellten Constructionen zeigen die Einrichtung der einseitigen Umdrehungsachse des Fernrohrs bei der Kippregel eines Mefstisches und zwar erstere einen Verticaldurchschnitt durch die Säule, letztere die Seitenansicht der Kippregel nebst den Lagern der Schraube ohne Ende.

Fig. 65.



Die konische Achse T des Fernrohrs T_1 bildet mit dessen Hülse ein Ganzes; an der ebenen Fläche des flanschenartig erweiterten Achsenlagers B, mit der Säule S ein Ganzes bildend, ist der Verticalkreis V mit der an seiner Randfläche eingeschnittenen Mutter der Schraube ohne Ende befestigt. Die Säule ist mit der Fufsplatte S_1 zusammengeschraubt und letztere durch drei Zugschrauben $z z z$ auf dem hölzernen Lineale L befestigt, durch die Stellschraube σ aber zu verstellen. Zu diesem Zwecke liegt das der Stellschraube gegenüberliegende Ende der Fufsplatte auf zwei abgerundeten Köpfen, durch welche die zugehörigen Zugschrauben hindurchgehen und in dem Lineale ihre Mutter haben. Auf das Achsenlager wird der Ring für die Loupenhalter L_1 geschoben und durch eine vorgelegte Scheibe, gegen welche eine plattenförmige gebogene Feder f gelegt wird, gehalten, während die Schraube m nicht nur letztere, sondern auch den Zapfen T in dem Lager B festhält. Mit der erwähnten Flansche des Achsenlagers ist durch versenkte Schrauben auch das Mittelstück der Rahmen $A A$ (Fig. 66.) der Vernierplatten V_1 V_1 verbunden, welche letztere sich federnd gegen den eingetheilten Kreisrand legen. Endlich stellen $s s$ und s_1 die auf der Fufsplatte S_1 befestigten Lager für die Schraube Σ dar, φ aber die ebenfalls auf der

Fig. 66.



Fufsplatte befestigte Druckfeder, welche unter das bewegliche Lager der Schraube greift. Durch den Hebel *h* und das gegen den Anschlagstift e_1 sich legende Excentrik *e* kann die Schraube dem Rande des Kreises *V V* genähert und davon entfernt werden. (Vgl. §§. 103 u. 104.)

§. 91.

Während die Vernierplatten der Fig. 66. in ihren Rahmen eine unabänderliche Lage haben, zeigt die in Fig. 67. dargestellte Construction die Einrichtung mit s. g. fliegenden Verniers (§. 9.), welche zu dem in Fig. 35. angegebenen Kreise *V V* gehören. Die keilförmig zulaufenden Platten $V^1 V^1$, an denen die silbernen Platten der Verniers durch Schrauben befestigt sind, sind zwischen Schraubenspitzen (§. 13. 5.) nicht allein dreh-, sondern gegen bestimmte Theilstriche des Limbus auch verstellbar, gestatten aufserdem dadurch leicht ein Zurückschlagen derselben, was bei dem Umlegen der Fernrohrachse in ihren Lagern viel Bequemlichkeit darbietet. Durch den vortretenden Silberstreifen der Eintheilung des Verticalkreises wird man in den Stand gesetzt, die Vernierplatten

Fig. 67.



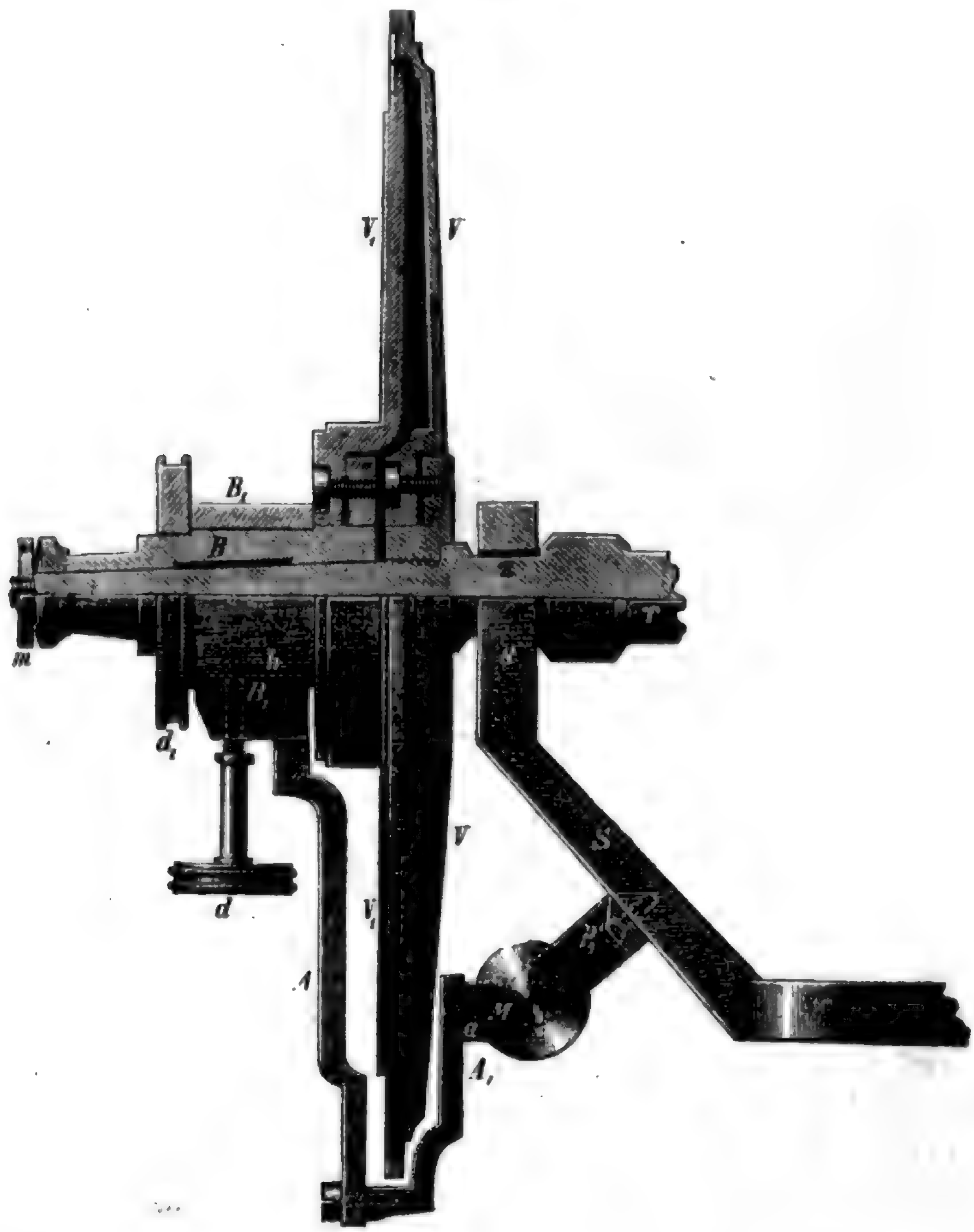
mit dem erwähnten Rande in eine Ebene zu bringen, wodurch die Genauigkeit der Ablesung erhöht wird. An den Rahmenstücken *A A* sind durch Schrauben auch zwei Platten befestigt, welche die in Charnieren beweglichen Blendrahmen *b b* tragen, durch welche eine möglichst gute Beleuchtung der Theilung erzielt werden kann. Die Rahmenstücke endlich, welche des zurückliegenden Kreises wegen eine schiefe Lage haben, sind mitttelst versenkter Schrauben an dem Achsenlager Σ der einen Stütze *S S* des Fernrohrs befestigt.

§. 92.

Dafs an die Höhenkreise der Winkelmefser zuweilen die Forderung gestellt wird, mittelst derselben Höhenwinkel von verschiedenen Punkten des Limbus aus bestimmen zu können, ist schon im §. 88. erwähnt. Diefs ist namentlich bei den s. g. Universalinstrumenten und bei den astronomischen Theodolithen der Fall,

mit welchen zugleich terrestrische Höhenwinkel bestimmt werden sollen. Da der Verticalkreis fast immer mit der Rotationsachse des Fernrohrs fest verbunden ist, so mufs dann der Vernierkreis an einer eigenen Büchse befestigt sein, die um die erwähnte Rotationsachse beweglich ist. Diese Einrichtung zeigt Fig. 68.

Fig. 68.



Der Verticalkreis V ist an der Flansche F der Achse T mittelst Schrauben befestigt, während der Vernierkreis V_1 mit seiner Büchse B um die Achse T gedreht und mittelst der Druckschraube d_1 an derselben fest gehalten werden kann. Die Hemmung der groben Bewegung geschieht mittelst der durch den Ring B_1 gegen die Bremsplatte b tretenden Druckschraube d; gegen diesen Ring tritt die vorhin erwähnte Druckschraube d_1. Zur feinen Einstellung dienen die mit

dem Fortsatz a versehenen Arme $A\,A_1$ des Ringes B_1 und die an der einen Stütze S befestigte Mikrometerschraube M. Durch die Mutter m wird der Zapfen z mit der Verlängerung der Büchse B zusammengehalten.

Die Balancierungen.

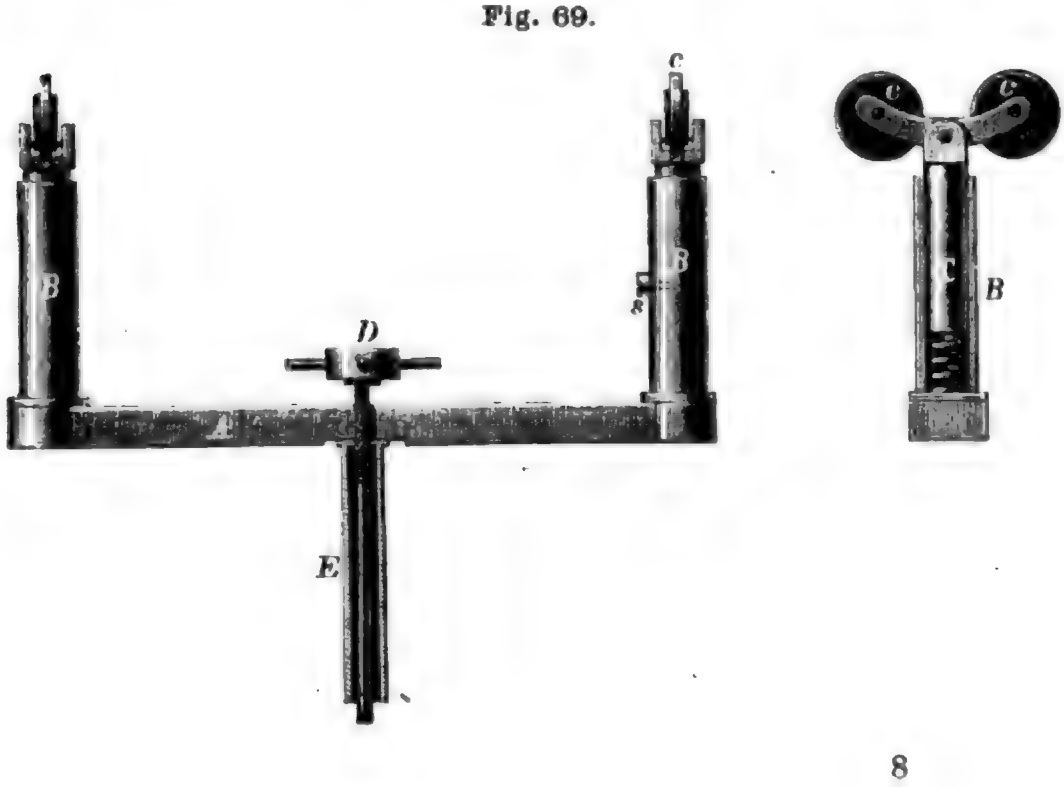
§. 93.

1. Um bei den gröfseren Mefsapparaten der unter B beschriebenen Horizontalrotationsvorrichtungen die Friction der Verticalachsen nebst den mit ihnen verbundenen Theilen in ihren Büchsen aufzuheben, läfst man die Achsen auf starken Stahlfedern ruhen, die unter den Armen des Dreifufses angebracht und mittelst der Befestigungsschrauben zugleich verstellbar sind. Ohne diese Federn würde die Friction, wegen der bedeutenden Lasten eine so grofse sein, dafs nicht allein eine Verbiegung der Kreise, sondern auch eine zu starke Abnutzung der sich berührenden krummen Flächen befürchtet werden müfste. In den Figg. 53. 61. 62. und 63. stellen I, L und L_1 die in Rede stehenden Federn vor.

Aus gleichem Grunde wurde in Fig. 53. durch die unter die Schraubenköpfe s tretende und den oberen Theil des Verticalzapfens umschliefsende Feder φ die Last der Stützen SS und des auf ihnen ruhenden Fernrohrs u. s. w. für sich aufgehoben und auf den Verticalzapfen verlegt.

Ebenso dient nun, theils zur Aufhebung der bedeutenden Last, welche bei grofsen Mefsapparaten das Fernrohr nebst den anderen an der Rotationsachse befestigten Stücken in den Achsenlagern hervorbringen würde, theils zur Uebertragung derselben auf die Verticalachse des Mefswerkzeugs und zur Vermeidung der Durchbiegung der daran befestigten Verticalkreise der in Fig. 69. dargestellte

Fig. 69.



Apparat. *A* ist eine über der Grundplatte der Stützen des Fernrohrs liegende bewegliche Platte, welche an jedem ihrer Enden einen hohlen Metallcylinder *B* trägt, auf dessem Boden eine starke Spiralfeder ruht. Diese trägt wieder einen massiven Cylinder *C*, an welchem an zwei Armen Frictionsrollen angebracht sind, auf welche die Umdrehungsachse des Fernrohrs zu liegen kommt, so dafs letztere von den Rollen getragen wird. In der Richtung des Verticalzapfens des Mefswerkzeugs ist von Unten in die Platte *A* ein eine Schraube *D* aufnehmender Cylinder *E* eingelafsen, der in eine entsprechende Ausbohrung der erwähnten Grundplatte tritt. In dem Verticalzapfen hat die Schraube *D*, die oberhalb der Platte *A* ihren Kopf hat, ihren Stützpunkt. Durch Anziehen oder Nachlafsen der Schraube *D* wird daher die Platte *A* nebst ihren Cylindern und den Frictionsrollen nach Belieben so gestellt werden können, dafs die Last der Umdrehungsachse nebst Zubehör von den Rollen vollständig getragen und daher auf den Verticalzapfen zurückgeführt wird. An dem Stande der aus seitlichen Einschnitten der Cylinder *B B* hervortretenden kleinen Schräubchen, die in den Cylindern *C C* befestigt sind, läfst sich die Tragkraft der Federn beurtheilen, um den Frictionsrollen die nöthige Höhe zu geben.

Derselbe Apparat kann auch zu einer sicheren und zugleich bequemen Umlegung des in den Achsenlagern ruhenden Höhenapparates angewandt werden, wovon in dem zweiten Abschnitte ausführlicher die Rede sein wird.

2. In anderen Fällen will man durch angebrachte Balancierungen ein Gleichgewicht für Lasten herstellen, welche auf der einen Seite einer Rotationsachse sich finden und durch diesen einseitigen Druck nicht nur auf das Achsenlager, sondern auch auf dessen Unterlage eine nachtheilige Veränderung äufsern würden. Dann bestehen sie aus prismatischen oder cylindrischen Körpern, welche man auf eigens angebrachten Tragstiften da befestigt, dafs sie die auf der entgegengesetzten Seite liegende Last balancieren. Dahin gehören die schon im §. 53. erwähnten Gegengewichte *G* beim gebrochenen Fernrohr, wodurch das Gewicht des Objectivrohrs *D* balanciert werden soll. In Fig. 61. würde auf dieselbe Weise ein seitlich angebrachtes Gegengewicht die Last des in der Büchse I_2 angebrachten untern Fernrohrs, welches seitwärts von dem Verticalzapfen *X* wirkt, zu balancieren vermögen, wovon, so wie auch von einigen andern Balancierungen im 2. Abschnitte ausführlicher die Rede sein wird.

D. Die Einrichtungen zur Hemmung der groben- und zur mikrometrischen oder feinen Achsenumdrehung.

§. 94.

Zunächst sollen die hierher gehörigen Vorrichtungen eine leichte und doch zugleich sichere Aufhebung (Hemmung) der groben d. h. der nur mit der freien Hand ohne fremde Mittel ausgeführten Achsenumdrehung gestatten, indem mittelbar

der bewegliche oder zu hemmende Theil der Rotationsvorrichtungen mit einem zur Zeit unbeweglichen und insofern feststehenden Theile des Mefsinstruments verbunden wird. Dann will man nach dieser vollführten Hemmung den erwähnten beweglichen Theil, durch eine möglichst gleichförmige und nur sehr geringe Bewegung, gegen den festen in dieselbe Rotation versetzen können, in welche derselbe ohne Hemmung mit der freien Hand versetzt werden konnte. Diese Bewegung bezeichnet man mit dem Ausdrucke der mikrometrischen oder feinen Einstellung der Rotationsachsen. Beide Einrichtungen hängen auf eine so innige Weise mit einander zusammen, dafs eine getrennte Darstellung beider nicht zuläfsig ist. In den beiden vorangegangenen Abtheilungen *B* und *C* konnten daher auch nur Andeutungen über die Möglichkeit der groben und feinen Achsenumdrehungen angegeben werden. Gleichwohl hängt von der zweckmäfsigen Construction, also von der richtigen Wahl der einen oder anderen Art, so wie von ihrer gründlichen Kenntnifs und der richtigen Behandlung derselben vorzugsweise die Güte der mit dem Mefswerkzeuge ausgeführten Beobachtungen oder Mefsungen ab.

Das Mittel zur Hemmung der groben Achsenumdrehung gewährt meistens die Schraube mit verschiedenen Hülfstheilen, oder eine s. g. Schraube ohne Ende in Verbindung mit einer starken Druckfeder, die durch ein excentrisches Kreisstück in Wirksamkeit gesetzt werden kann. Zur mikrometrischen Bewegung dient in den meisten Fällen die Schraube mit feinem Gewinde (daher auch gewöhnlich Mikrometerschraube genannt), die gewöhnlich nur eine rotierende Bewegung gestattet und durch deren Rotation daher die bewegliche Mutter eine Fortschiebung erleidet (§. 14.), aber auch von der Schraube ohne Ende vertreten werden kann. Hin und wieder macht man indessen auch von der fortgleitenden Bewegung der Schraube, mit welcher daher die unbewegliche Mutter verbunden sein mufs (§. 15.), Gebrauch. Den festliegenden Stützpunkt der Schraube bildet entweder die zwischen dem Kopfe und dem Gewinde liegende Kugel, die dann in dem ersten Falle an dem festliegenden, unbeweglichen Theile des Mefsapparats angebracht ist, oder ein ebenfalls an dem festliegenden Theile angebrachter prismatischer Anschlagzapfen, gegen dessen eine Seite das Ende der Schraube tritt, während gegen die andere Seite eine an dem beweglichen Theile befestigte Druckfeder mit ihrem freien Ende sich legt. Diese letztere Art der Construction wird von Einigen mit dem unpassenden Namen Federmikrometer belegt. Beide Constructionen lafsen sich aber mit den verschiedenen Hemmungsvorrichtungen verbinden, daher letztere auch allein das Unterscheidungsprincip abgeben. Es mufs aber noch bemerkt werden, dafs in dem ersten Falle die Mikrometerschraube allein, in dem letzteren aber in ihrer Verbindung mit der Druckfeder immer eine Vereinigung des festen und beweglichen Theils des Mefsapparats bildet. Nur bei der Anwendung der Schraube ohne Ende dient diese nicht nur zur Hemmung, sondern auch zur feinen Einstellung. Alle hierbei

angewandten Schrauben haben einen geränderten oder einen mit einem Hebel versehenen Kopf. (§. 13. 2.) Es lassen sich folgende vier Arten von Hemmungsvorrichtungen unterscheiden.

Fig. 58.

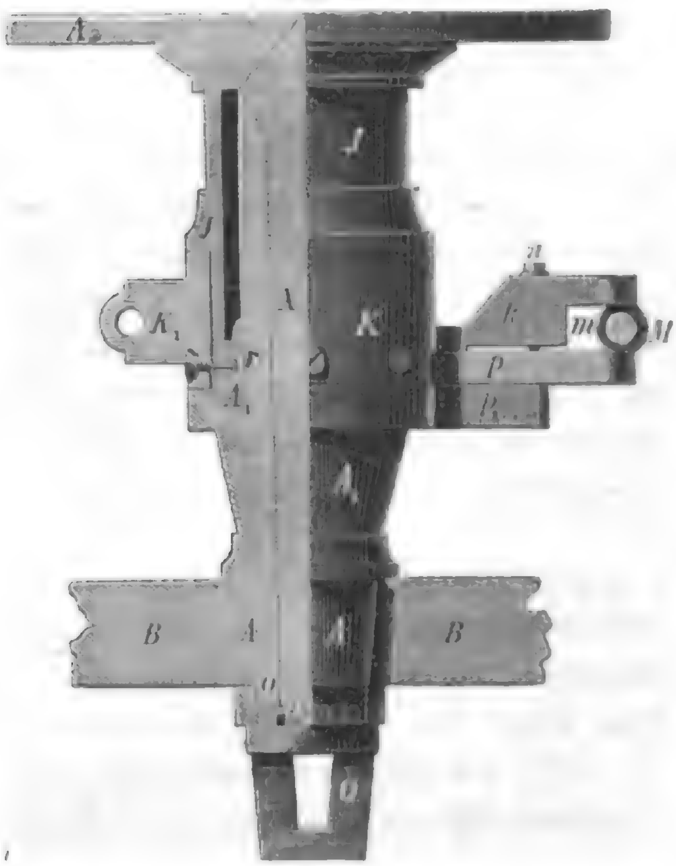
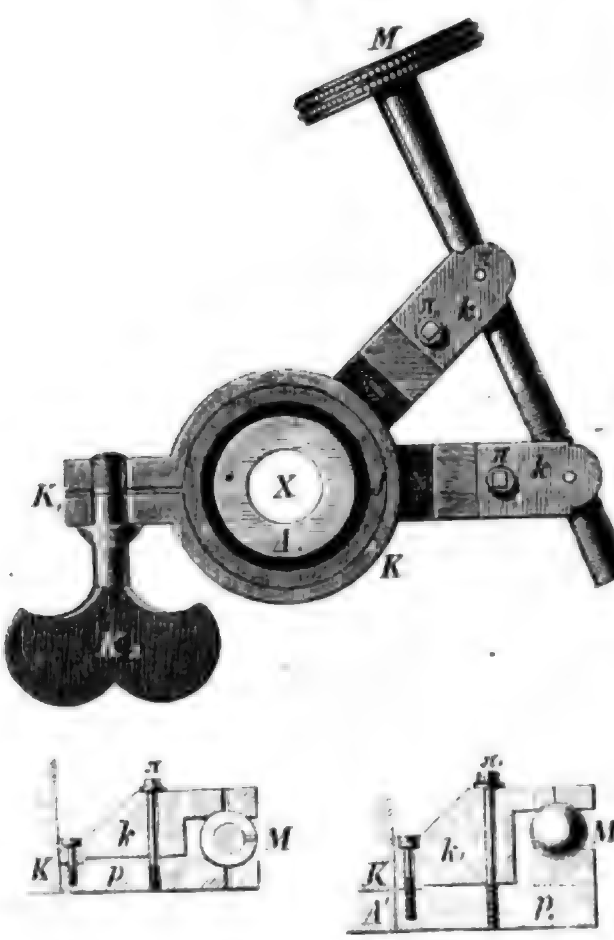


Fig. 70.



1. Der Klemmring mit der Klemmschraube.

§. 95.

Der Klemmring der Figg. 58. und 70. besteht aus einem starken Messingringe K von einer dem zu hemmenden Theile entsprechenden Breite. In der Richtung einer Seite ist er aufgeschlitzt, um ihm eine federnde Eigenschaft zu geben. Jeder der Theile enthält einen hinreichend starken prismatischen Fortsatz K_1. Der eine derselben dient der Klemmschraube K (§. 14.) als Stütze, während der andere die Mutter enthält. Durch Anziehen der Klemmschraube legt sich die innere Fläche des Ringes an die äufsere Mantelfläche I, welche nach §. 82. mit der Scheibe A_2 und dem Verticalzapfen X ein Ganzes bildet. Hierdurch ist daher die grobe Rotation des Mefswerkzeugs aufgehoben. Die Einrichtung zur feinen Einstellung besteht in zwei s. g. Klemmen mit der Mikrometerschraube M. Jede derselben ist aus zwei Stücken mit kugelförmigen Aushöhlungen zusammengesetzt, von denen das eine, hier das untere, p und p_1 mit dem beweglichen Klemmringe oder der festen Dreifufsbüchse A_1 beziehungsweise zusammenhängt und theils die kugelförmige, aufgeschlitzte Mutter m (Fig. 58.), theils die massive

Kugel der Mikrometerschraube aufnimmt, während das andere, obere, k und k_1 durch versenkte Schrauben mit dem andern verbunden ist. Die ersteren, p und p_1 werden die Klemmplatten, die letzteren, k und k_1 die Kloben der Klemmen genannt. Zwischen der ersten Klemme, p_1 k_1, welche mit dem festen Dreifufs in Verbindung steht, liegt daher die Kugel, zwischen der anderen die Mutter der Mikrometerschraube, durch deren Anziehung daher dem Klemmring K mit der Scheibe A_2 und dem damit verbundenen Mefsapparate eine Rotation nach dem Kopfe der Mikrometerschraube zu ertheilt werden wird. Um eine schlotternde Bewegung des Klemmringes zu vermeiden, treten von Aufsen Stifte, die in dem Ringe durch Schraubengänge festsitzen, in eine Rille r, (Fig. 58.) welche in die äufsere Fläche der Centralbüchse A_1 eingedreht ist.

Der Gang der Kugel, oder der todte Gang der Mutter der Mikrometerschraube kann beziehungsweise moderiert oder aufgehoben werden durch kleine Prefsschrauben π_1 und π, die bei jeder Klemme angebracht sind; kleine Löcher in den Kloben bis zur Kugel oder Mutter gestatten das Eintröpfeln von Oel.

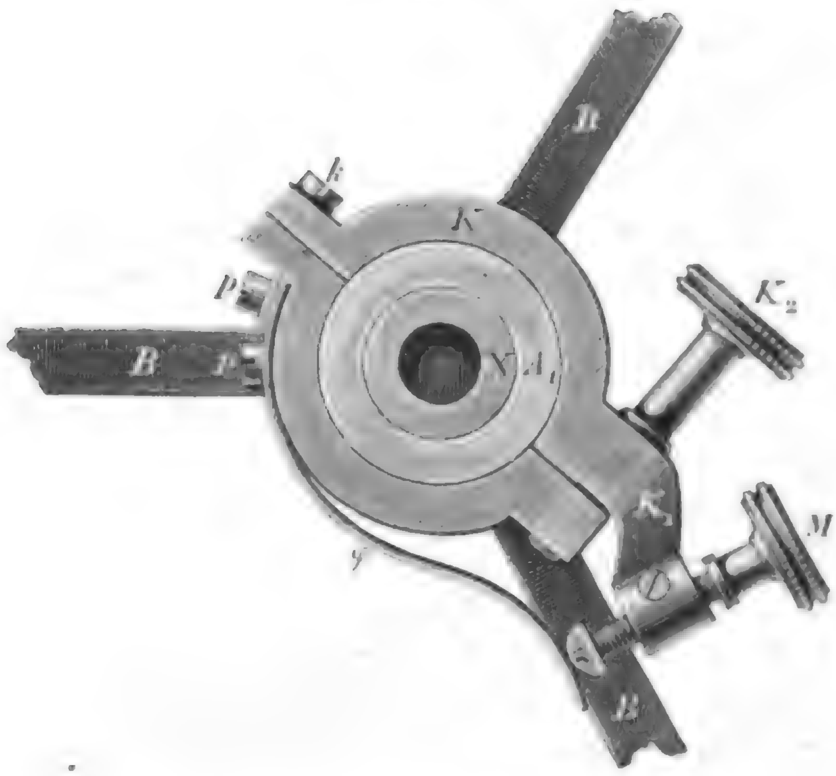
Da aber bei der Umdrehung der Mikrometerschraube die fortgleitende Bewegung ihrer Mutter in einer der Achse der Schraube entsprechenden, also in einer Richtung erfolgt, welche für die drehende Bewegung des Klemmringes und der daran geschlofsenen Theile eine Tangentialrichtung ist, so würde eine Spannung in der Mutter eine nothwendige Folge sein, wenn letztere nicht auch in eine drehende Bewegung übergehen könnte. Diefs wird aber, wie schon im §. 16. bemerkt ist, durch einen cylindrischen Gelenkstift erreicht, der von der äufseren Fläche der Mutter ausgeht und in eine Vertiefung der Klemmplatte tritt.

Wegen der grofsen Berührungsfläche des inneren Mantels des Klemmringes mit der äufseren Mantelfläche der Hülse I ist die hier erwähnte Vorrichtung eine der vorzüglicheren Arten, da sie auf den Centralzapfen und dadurch auf das Mefswerkzeug nur eine möglichst geringe Spannung veranlafsen wird. Sie verdient bei den Mefsapparaten mit einfachem Achsensystem der Horizontalrotationen besonders dann immer angewendet zu werden, wenn die Centralbüchse ihre Anlage gestattet. Man kann sich ihrer bei letzterem Umstande nicht nur bei Theodolithen, Mefstischen, Nivellierwerkzeugen, Boussolen, sondern auch bei den Nufsconstructionen, wie Fig. 55. zeigt, zweckmäfsig bedienen.

§. 96.

Die in Fig. 71. dargestellte Construction des Klemmringes mit der Klemmschraube unterscheidet sich von der des vorigen Paragraphen dadurch wesentlich, dafs die Mikrometerschraube mit Klemmen, hier durch eine einfache Schraube mit feinem Gewinde und eine Druckfeder vertreten wird. K bezeichnet den Klemmring, der seiner beträchtlichen Dicke wegen an zwei diametral gegenüberliegenden Seiten gespalten und mit ungleichen prismatischen Ansätzen versehen ist. Die kürzeren Enden sind bleibend durch eine starke Zugschraube k mit einander ver-

Fig. 71.



bunden; der längere Fortsatz K_1 enthält wie in Fig. 70. die Klemmschraube K_2. Da in Fig. 59. (S. 100) der Klemmring K höher als der Anschlagzapfen z auf dem einen Arme des Dreifufses liegt, so ist der Fortsatz K_1 nach der Mikrometerschraube M zu knieförmig gebogen. Gegen den Zapfen legt sich die mit 2 Zugschrauben an den Klemmring befestigte Druckfeder φ, wodurch der Zapfen der Mikrometerschraube M einen bleibenden festen Stützpunkt darbietet, da die Spannkraft der Feder genau nach der Lage der Mikrometerschraube in ihrer Mutter, welche in dem erwähnten Fortsatze K_1 des Ringes K liegt, berechnet ist. Die Wirkung der Mikrometerschraube auf die mit der gehemmten Büchse A_1 verbundenen Scheibe A_2 ist wie im vorigen Paragraph.

Diese Construction verdient ihrer kräftigen Hemmung wegen besonders bei Mefstischen angewandt zu werden. Sie ist von dem hiesigen Mechaniker Frerk jun. eingeführt.

2. Die Halterplatte mit der Klemmschraube.

§. 97.

Diese Einrichtung wird besonders dann angewandt, wenn die Hemmung der rotierenden Bewegung, wegen des Baues der den Zapfen umgebenden Büchsen, nicht an diesen selbst angebracht werden kann und zugleich eine mit einer Achse in Verbindung stehende Scheibe gegen eine andere feste Scheibe oder einen festen

Arm in drehende Bewegung versetzt werden soll. Vorzugsweise bedient man sich ihrer bei der drehenden Bewegung der Alhidade oder des Mikroskopenkreuzes gegen den Limbuskreis oder bei der rotierenden Bewegung des letzteren gegen einen festen Arm der Dreifufsbüchse. So unähnlich auch diese Vorrichtung der in 1. beschriebenen scheint, so sind beide im Princip doch einander sehr ähnlich. Denkt man sich z. B. die in Rede stehende Einrichtung zu der Bewegung des Limbuskreises eines Theodoliths gegen die festliegende Dreifufsbüchse oder einen Arm derselben angebracht, so wird der Mantel I (Figg. 58. und 70.) in 1, hier durch den Kreisrand vertreten; die Dreifufsbüchse A_1 dort, hier durch den von ihr ausgehenden Arm; so wie der Klemmring K mit seinen beiden prismatischen Fortsätzen K_1 in 1, hier durch zwei Platten substituirt, von denen die eine die Mutter der zugehörigen Klemmschraube enthält und so geschnitten ist, dafs sie zum Theil gegen, zum Theil aber über oder unter den vorspringenden Bord des Kreises sich legt. Die andere, die erstere deckende und ihr fast gleich geformte Platte, liegt beziehungsweise unter oder über dem erwähnten Borde und bildet zugleich die Stütze der erwähnten Klemmschraube. Da durch die zuersterwähnte Platte, mittelst des Anziehens der Klemmschraube, der Kreisrand festgehalten oder gehemmt wird, so wird sie die Halterplatte, die andere Platte aber die Deckplatte der Vorrichtung genannt. Die Construction der Klemmen ist hier der in Fig. 70. angegebenen ganz ähnlich. Die Klemme für die Kugel der Mikrometerschraube ist meistens an dem erwähnten Arme, die für die Mutter dann an der vorhin genannten zweiten Platte angebracht. Doch können auch Kugel und Mutter gegen einander vertauscht werden, nur findet dann nicht eine Fortschiebung der Mutter, sondern der Mikrometerschraube mit der Kugel Statt (§. 15.). Durch das Anziehen der Klemmschraube wird daher der zwischen den beiden Platten liegende Kreisrand gehemmt und mittelst der Mikrometerschraube zugleich mit dem Arme der Dreifufsbüchse zu einem Stück verbunden (§. 94.), so dafs demnach die grobe Achsenumdrehung gehoben ist, die feine Einstellung aber auf die im §. 95. angegebene Weise erfolgt.

Bei dieser Art der Hemmung wird den sich berührenden Flächen ein weit geringeres Areal dargeboten, als bei der in 1 beschriebenen. Defshalb mufs aber die Berührung der Halterplatte mit dem gehemmten Kreisrande eine möglichst innige sein, um Schwankungen in den verbundenen Stücken durch die Umdrehung der Mikrometerschraube zu vermeiden. Zu diesem Zwecke ist auf der Unterfläche des Kreisrandes eine schmale Rille ausgedreht, in welcher zwei kleine prismatische Ansätze der Deckplatte ihre Führung haben. Eben so enthält letztere noch zwei cylindrische Stifte, welche in die zugehörigen Löcher der Halterplatte treten. Zur Vermeidung des Aufschleifens der beiden Platten auf dem Kreisrande beim Lösen der Klemmschraube, enthält die eine derselben, oder auch beide, cylindrische Ausbohrungen mit Spiralfedern, wodurch denn die erwähnten Platten, beim Lösen der Klemmschraube, sogleich nach entgegengesetzten Richtungen von einander

entfernt werden. Letztere Einrichtung wendet Breithaupt bei seinen Meſsinstrumenten vielfach an.

§. 98.

Bei der Hemmung und der feinen Einstellung der Alhidaden gegen ihre eingetheilten Horizontalkreise macht man von der in dem vorigen Paragraph beschriebenen Einrichtung fast ausschlieſslich Gebrauch. Mit gleicher Bequemlichkeit kann man sich derselben aber auch bedienen, wie auch im vorigen Paragraph angenommen wurde, beim Einstellen des Limbuskreises gegen die Büchse des Dreifuſses und bei dem des s. g. unteren Fernrohrs gegen den Kreis. Selbst bei den Meſsapparaten mit einfachem Achsensystem läſst sie sich dann immer anwenden, wenn die mit dem beweglichen Centralzapfen verbundene Scheibe, auf welcher der Meſsapparat angebracht ist, noch mit einem Mantel versehen ist, der an seinem unteren Ende eine vorspringende Scheibe trägt.

In Bezug auf die Hemmung der Alhidaden gegen die Kreisränder ist aber noch zu bemerken, daſs durch die Umdrehung der Mikrometerschraube, da sie in einer Tangentialrichtung für den Kreis wirkt, mehr oder weniger eine Biegung der dem Mikrometerwerke nahe liegenden Speichen der Alhidade und dadurch eine Ungenauigkeit in der Bestimmung des zu meſsenden Winkels hervorrufen wird. Es wird deshalb auch bei dem im 2. Abschnitt zu beschreibenden Verfahren, mit einem Theodolith u. s. w. die Gröſse eines Horizontalwinkels zu bestimmen, angegeben werden, wodurch der angedeutete Fehler eliminiert werden kann.

§. 99.

In den Figg. 72. u. 73. sind die Durchschnitte der Einrichtung der Hemmung und feinen Einstellung mittelst der Halterplatte und Klemmschraube dargestellt,

Fig. 72.

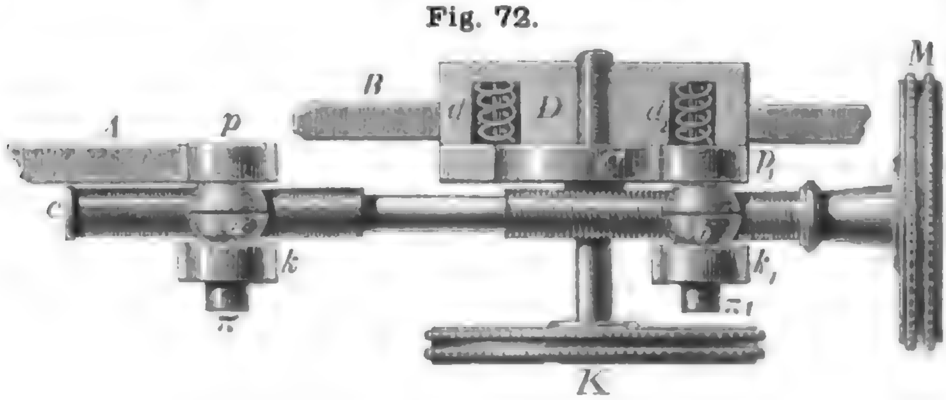
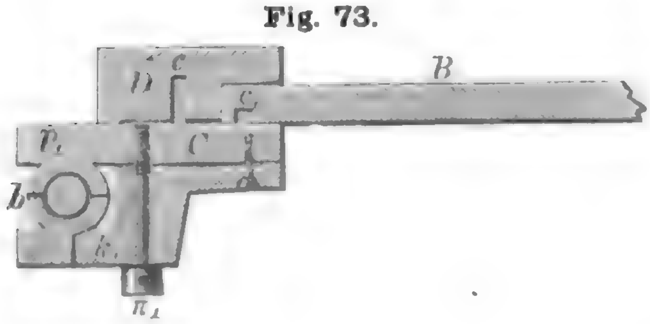


Fig. 73.



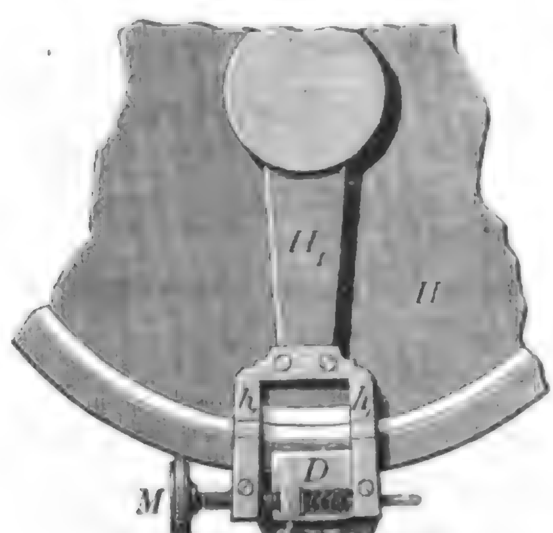
die gewöhnliche Mikrometerschraube ist durch eine Differenzialschraube M vertreten. A bezeichnet den festliegenden Theil des Mefsapparats, gegen welchen der Theil B bewegt werden soll; a die festliegende, b die bewegliche, (d. h. die den Theil B in Drehung versetzende) Mutter; D die Halter- und C die Deckplatte des Hemmungswerks, K dessen Klemmschraube. Ferner bezeichnen k und k_1 die Kloben; p und p_1 die Klemmplatten, von welchen p mit dem Arme A, p_1 aber mit der Deckplatte C ein Ganzes bildet; π und π_1 die zugehörigen Prefsschräubchen, c und c_1 die Gelenkstifte und den Ansatz zur sicheren Führung, zu welchen die Platte D die nöthigen Löcher und die Scheibe B die erforderliche Rille enthält und endlich d und d_1 die hohlen Cylinder, welche die zur Vermeidung des Aufschleifens nöthigen Spiralfedern aufnehmen. In Fig. 73. sind diese Cylinder weggelafsen.

Ueber die Wirkung der Differenzialschraube ist §. 17. zu vergleichen.

§. 100.

In Fig. 74. ist ein Theil des Kreises und der Alhidade eines 6zölligen Meyersteinschen Spiegelkreises mit dem s. g. Federmikrometer dargestellt. Auf der Alhidade H_1 ist eine aus zwei Armen $h_1 h_1$ bestehende Platte befestigt, deren vordere Enden in horizontaler Richtung aufgeschlitzt und mit Klemmschräubchen versehen sind; der eine Arm enthält die Mutter der Mikrometerschraube M. Auf der Halterplatte D ist der stählerne Anschlagzapfen d befestigt, dessen eine Seitenebene den Stützpunkt der Schraube M bildet; damit letzterer sich nicht ändert, also die Wirkung der Mikrometerschraube und die Verbindung des beweglichen Theiles mit dem festen (§. 94.) nicht aufgehoben wird, treibt die Elasticität der Spiralfeder φ den Knopf eines in dem zweiten Arme beweglichen Stahlstiftes gegen den Zapfen d, daher die den Stift umgebende Spiralfeder zwischen dem Arme und dem erwähnten Knopfe angebracht ist. Es wird bei dem praktischen Gebrauch nur immer darauf zu achten sein, dafs die Windungen der Feder so nahe zusammenliegen, um die erforderliche spannende Kraft äufsern zu können.

Fig. 74.



Die in Fig. 75. dargestellte Construction unterscheidet sich nur dadurch wesentlich von der vorigen, dafs die Spiralfeder in Fig. 74. hier durch eine plattenförmige Druckfeder vertreten ist und die auf H_1 befestigte Platte h_1 nur

Fig. 75.



einen Arm für die Mutter der Mikrometerschraube enthält. *H* bezeichnet, wie auch in Fig. 74., den eingetheilten Kreis, dessen Rand, sowie auch der der Alhidade, hier mit dem mittleren Theile durch Speichen verbunden ist, während er in Fig. 74. eine volle Scheibe, die Alhidade aber zwei Platten darstellt, die sich in der Mitte zu einer Scheibe vereinigen.

3. Der geschlofsene Ring mit der Prefsschraube und der Bremsplatte oder dem Bremsringe.

§. 101.

Obgleich diese Einrichtung vorzugsweise bei der Verticalrotation um die Horizontalachse und zwar bei der Hemmung und mikrometrischen Bewegung der letzteren angewandt wird: so kann man sich ihrer, bei geringer, aber nicht wesentlicher Veränderung des Mikrometerwerks, auch bei der Bewegung des Limbuskreises gegen die Büchse des Dreifufses mit Nutzen bedienen. Zu der mikrometrischen Bewegung dient aber fast ausschliefslich die Construction der einfachen Mikrometerschraube mit der Druckfeder, wenngleich auch die Mikrometerschraube mit den Klemmen angewandt werden kann.

Die Einrichtung zur Hemmung der groben Achsenumdrehung besteht aus einem starken, an einer Seite verdickten, nicht gespaltenen Ringe, an dessen innere Mantelfläche um den zu hemmenden Theil, entweder ein Stahlring (Bremsring), oder eine Innen cylindrisch ausgedrehte Stahlplatte (Bremsplatte) sich legt, gegen welche durch den erwähnten verdickten Theil des geschlofsenen Ringes

die Prefsschraube tritt, durch deren Anziehung demnach die Hemmung der Rotationsachse bewirkt werden kann.

Die Einrichtung zur federmikrometrischen Einstellung fordert eine Verschiedenheit, je nachdem sie bei Horizontal- oder Verticalbewegungen angewandt wird. Bei der ersteren ist die Stütze der Mikrometerschraube wieder ein verticalstehender Anschlagzapfen auf dem einen Arme des Dreifufses. Die Mutter derselben liegt in einem, von dem geschlofsenen Ringe ausgehenden und mit diesem zu einem Stück verbundenen Arme, während die Verbindung des beweglichen und festen Theils (§. 94.) und die Wirksamkeit der Schraube durch eine plattenförmige Druckfeder, die sich gegen den erwähnten Zapfen legt und an dem äufseren Mantel des Ringes mittelst Schrauben befestigt ist, hervorgebracht wird.

Diese Construction zeigt Fig. 76. im Grundrifs, worin *BBB* die Arme des Dreifufses, *z* den Anschlagzapfen für die Druckfeder φ und die Stütze der Mikro-

Fig. 76.



meterschraube *M*, die in dem Fortsatze K_1 des Ringes *K* ihre Mutter hat, bezeichnen. *P* stellt die Prefsschraube, *b* die Bremsplatte vor, welche durch die Anziehung der Schraube gegen den Mantel G_1 gedrückt wird. *G* bezeichnet die Kreisachse, *X* den Verticalzapfen und A_1 die nach Oben erweiterte Büchse des Dreifufses, welche von dem Mantel *G* umhüllt wird. (Vgl. Fig. 60. S. 101.)

Dieselbe Hemmungsvorrichtung, nur bei Anwendung der Mikrometerschraube mit Klemmen zeigt Fig. 62. (S. 104.) Durch Anziehung der Prefsschraube d_1 wird die mit dem Verticalzapfen *X* verbundene Alhidade H_1 gehemmt. Der von dem Ringe *K* auslaufende Arm K_1 enthält die Klemme für die Mutter der Mikrometerschraube, die auf der Platte $A_1 A_1$ befestigte Grundplatte *a* aber die

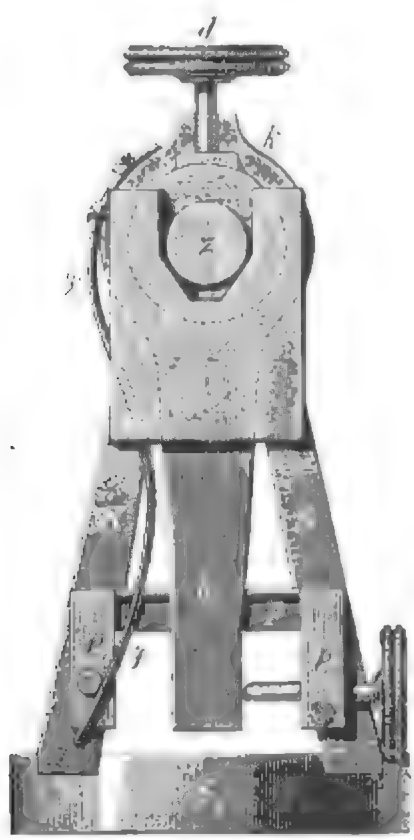
Klemme für die Kugel derselben. Obgleich durch diese Einrichtung der grofse Vortheil erreicht wird, dafs die Hemmung und feine Einstellung der Alhidade ihrem Centrum möglichst nahe erfolgt, also die Spannung in ihren Speichen vermieden wird, so opfert man doch dadurch eine eben so sichere Drehung des Limbuskreises *H* um die nicht hohe Büchse *A A* wieder auf.

Endlich zeigt auch Fig. 61. (S. 102) die hier in Rede stehende Hemmungsvorrichtung, indem *K K* den geschlofsenen Ring, der sich um die äufere Fläche des Mantels *g* legt, *d* die Prefsschraube, *p* und *k* die mit dem Ringe verbundene Klemme und p_1 die Grundplatte für die Klemme an der Dreifufsbüchse darstellen.

§. 102.

Bei der Verticalrotation um die Horizontalachse tritt das Ende der Mikrometerschraube, deren Mutter an dem einen Arm der einen Stütze der Umdrehungsachse des Fernrohrs angebracht ist, unmittelbar gegen den vertical abwärtsgehenden Arm des geschlofsenen Ringes. Bei kleineren Mefsapparaten, bei denen die Umlegung der Horizontalachse des Fernrohrs mit nur geringen Schwierigkeiten schnell und zugleich sicher ausgeführt werden kann, bewirkt die Verbindung des beweglichen und festen Theils (§. 94.) eine plattenförmige Druckfeder, die, wie in Fig. 76., auf dem geschlofsenen Ringe befestigt ist, indem sie sich gegen einen horizontal vorstehenden Zapfen legt, der an dem entgegengesetzten Arme der Stütze hervortritt. Diese Construction zeigt Fig. 77., worin *d* die

Fig. 77.



Prefsschraube, b die Bremsplatte, z den Stahlzapfen der Umdrehungsachse, z_1 den Anschlagzapfen für die Druckfeder φ, SSS_1 die eine Stütze des Fernrohrs mit seiner Achse, M die Mikrometerschraube und k_1 den Arm des Ringes k bezeichnet. p stellt eine mit der Stütze SS durch Schrauben verbundene Platte vor, an deren vorspringenden Armen $p_1 p_1$ die Mutter der Mikrometerschraube und der Zapfen z_1 vorhanden sind. In Fig. 78. wird letzterer durch eine Schraube σ_2 vertreten, durch deren Mutter m der Spiralfeder f die zur Wirkung der Mikrometerschraube M erforderliche Spannkraft ertheilt werden kann. Drückt man durch Anziehen der Mutter m die Windungen der Feder noch mehr zusammen, so bekommt der Arm k_1 hinreichenden Spielraum zwischen der zu diesem Zwecke etwas gelüfteten Mikrometerschraube und dem Knopfe der Spiralfeder, dafs die Aushebung und Umlegung der Fernrohrachse nebst Zubehör mit Leichtigkeit ausgeführt werden kann. Insofern verdient auch die Anwendung einer Spiralfeder vor einer plattenförmigen Feder den Vorzug. $\sigma\sigma\sigma_1$ bezeichnen die Stell- und Zugschrauben zur Verstellung des beweglichen Achsenlagers s.

Fig. 79. stellt nur eine Modification von Fig. 78. dar, indem die Spiral-

Fig. 78.

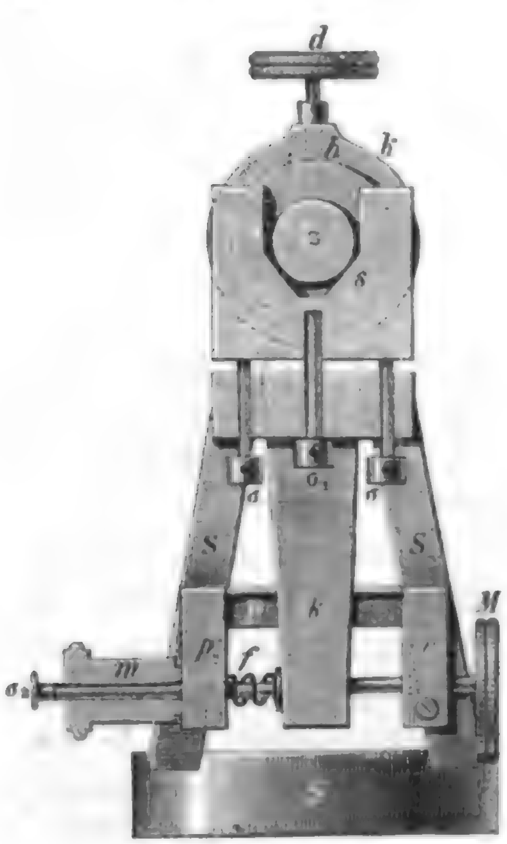
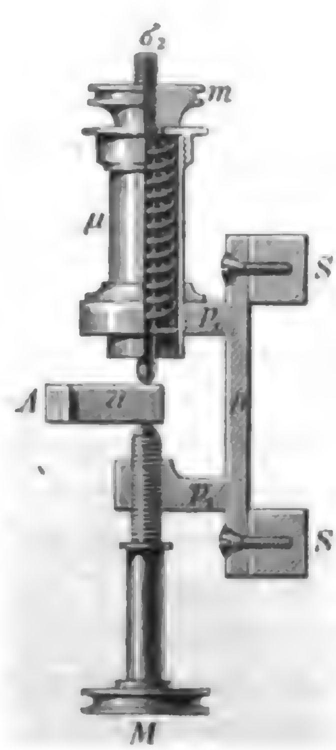


Fig 79.



feder f in letzterer von einem Mantel μ, der auf p_1 festgeschraubt ist, umgeben wird und nur zum Schutz der Spiralfeder dient. $A\,a$ bezeichnet den Arm, gegen

dessen eine Seite die Mikrometerschraube *M* sich legt, während der Knopf der Schraube σ_2 dem Arme *a* die erforderliche Spannung verleiht. (M. vgl. Fig. 68. S. 112.)

4. Die Schraube ohne Ende mit dem Schlitten.

§. 103.

Diese Einrichtung kommt, obgleich im Allgemeinen nur beschränkt, sowohl bei Horizontal- als Verticalrotationen zur Anwendung, fordert aber aufser der Schraube immer eine Scheibe mit einem dem Durchmefser der Schraube entsprechenden Rande, in welchen die Mutter eingeschnitten ist und von der die Vorrichtung den obigen Namen erhalten hat. Sie unterscheidet sich dadurch wesentlich von den drei vorhergehenden, dafs während bei letzteren zur Hemmung der groben Achsenrotation eine Klemm- oder Prefsschraube, zur feinen Einstellung aber eine s. g. Mikrometerschraube diente, hier beide Arten der Kreisbewegung dadurch erreicht werden, dafs durch eine um die Kugel der Schraube vorgenommene seitliche Drehung derselben in der Richtung der erwähnten Scheibe, die Gewinde derselben in die Mutterschraube ein- oder aus derselben heraustreten. In dem letzteren Falle ist die grobe Rotation des beweglichen Theils des Mefsapparats gegen den festen, im ersteren die Hemmung desselben und durch Umdrehung der Schraube die feine Einstellung möglich. Hierzu dient eine starke plattenförmige Druckfeder und ein mit einem excentrischen Cylinderstück verbundener Hebel, (§. 94.) wodurch dem vorderen Ende der Schraube die erwähnte drehende Bewegung ertheilt werden kann, sobald die Kugel in einem Lager sich befindet, das mit dem festen Theile des Mefsapparats in Verbindung steht.

§. 104.

Die Figg. 80. und 81. stellen die zu einem Mefstisch gehörige Vorrichtung der Schraube ohne Ende im Grundrifs und in der Seitenansicht vor. In ersterer ist die Schraube als ausgerückt, mithin zur groben Achsendrehung geeignet, in letzterer aber zur feinen Einstellung, eingerückt dargestellt.

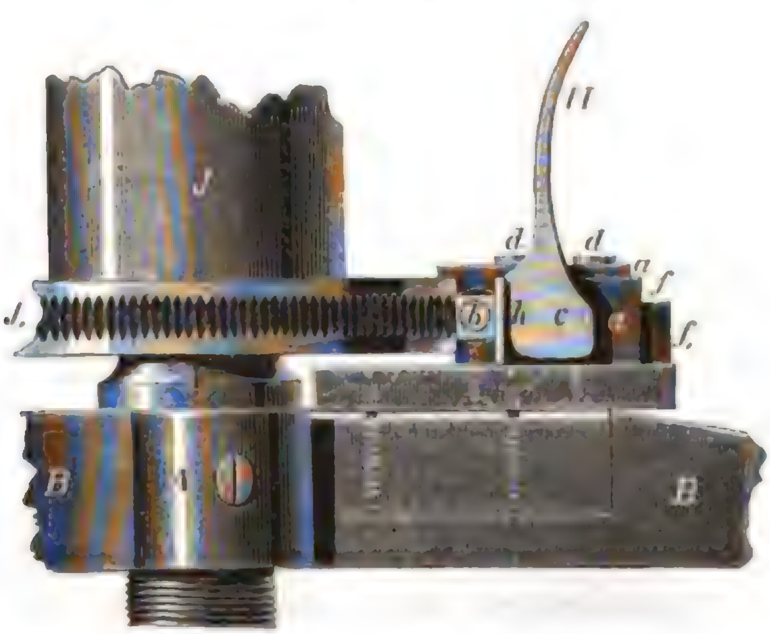
B ist der eine Arm des Dreifufses, auf welchem durch zwei versenkte Schrauben die Fufsplatte *P*, welche die Lager der Schraube *S* enthält, befestigt ist. An dem unteren Ende des Mantels *I*, der mit dem Verticalzapfen ein Ganzes bildet und die Dreifufsbüchse A_1 umgiebt, findet sich die Scheibe I_1, in deren äufsere Randfläche die Mutter der Schraube eingeschnitten ist. In dem, dem Schraubenkopfe zunächst liegenden Lager *a* läfst sich die Schraube mit der Kugel sowohl um ihre Achse, als auch seitlich zum Ein- und Ausrücken drehen, durch die Prefsschrauben *d d* aber ihr Gang moderieren. Das andere, parallelepipedische Lager *b*, der Schubbolzen oder Schlitten genannt, nimmt das in einen kleineren Cylinder auslaufende Ende der Schraube auf und ist in einem auf der Fufsplatte *P* befestigten hohlen Parallelepipedum *a*, dem Bolzenlager, nach dem

Fig. 80.



Rande der Scheibe I_1 zu verschiebbar. Dadurch wird das erwähnte Ein- und Ausrücken der Schraube aus ihren Mutterwindungen möglich gemacht. Das Aus-

Fig. 81.



rücken erfolgt nämlich durch das Niederdrücken eines Hebels *H*, der seitlich an dem Bolzenlager drehbar, mit dem Bolzen aber durch einen Stift verbunden ist, auch mit einem Excentrik *e* ein Ganzes bildet, dessen Stützpunkt aber durch eine schmale Platte *h* an dem Bolzenlager gebildet wird. In diesem Falle wird

der Abstand des Stützpunkts vom veränderlichen Drehpunkt am gröfsten. Das Einrücken der Schraubengänge in die Mutter geschieht durch eine Hebung des Hebels, wobei zugleich das freie Ende einer starken plattenförmigen Druckfeder ff_1, die an der Seitenebene der Grundplatte P festgeschraubt ist, gegen den Bolzen b tritt und denselben soweit vortreibt, bis die Gänge der Schraube in die Windungen der Mutter getreten sind. Die feine Einstellung des Mefsapparats geschieht dann durch Umdrehung der Schraube.

Es ergiebt sich aber leicht, dafs sowohl die sichere Hemmung des Mefsapparats, als dessen feine Einstellung lediglich davon abhängig ist, dafs die Schraubengänge genau in die Mutter greifen, in derselben auch verbleiben und die Druckfeder die nöthige Elasticität behält; Forderungen indessen, die nach langem Gebrauche des Apparats nicht immer zu erfüllen sein werden. Deshalb möchte auch diese Hemmungsvorrichtung, wenngleich meistens die bequemste im Gebrauch, doch die am wenigsten zu empfehlende sein und daher auch nur bei kleineren Mefsapparaten, die keine scharfe Einstellung nach einer Röhrenlibelle fordern, zur Anwendung kommen können. Dafs aber durch Weglafsung der Druckfeder, wie man diefs wohl bei einigen älteren Boussolen antrifft, die Vorrichtung noch unvollkommener wird, bedarf kaum einer Erwähnung.

In Fig. 66. (S. 110) ist die Einrichtung der Schraube ohne Ende bei der Kippregel eines Mefstisches mit distanzmefsendem Fernrohr dargestellt.

Bemerkungen über das Auseinandernehmen, Reinigen und Wiederzusammensetzen der einzelnen Theile der Mefsapparate.

§. 105.

Selbst bei der gröfsten Sorgfalt, die man bei dem Gebrauch der geometrischen Instrumente anwendet, wird man nach längerer oder kürzerer Zeit es nicht vermeiden können, dafs einzelne Theile, insbesondere die Umdrehungsachsen, nicht in dem leicht beweglichen Zustande verbleiben, den sie anfangs besafsen. Sehr häufig sind es nur geringe, unbedeutende Hindernisse, die man zu beseitigen hat, meistens auch selbst beseitigen kann, um den Apparat wieder in den vorher guten Zustand zu versetzen. Bei dem geringen Selbstvertrauen, das insbesondere Anfänger häufig bei der Behandlung der Mefsapparate und bei der Beseitigung der erwähnten störenden Hindernisse besitzen, wird nicht selten der Mefsapparat dem Mechaniker zur Ausgleichung jener Mängel zugesandt, und dadurch dann häufig nicht nur eine Unterbrechung der Mefsungen, sondern auch unnöthige Transportkosten hervorgerufen. Ich glaube daher im Interesse der ausübenden Mefskünstler zu handeln, wenn ich hier die wichtigsten Regeln über das Auseinandernehmen, Reinigen und Wiederzusammensetzen der einzelnen Theile der Mefsapparate folgen lafse.

§. 106.

1. Kommt es auf das Reinigen der verticalen Umdrehungsachsen insbesondere an, so wird selbstverständlich ein Auseinandernehmen der in Betracht kommenden Stücke vorangehen müfsen. Dabei wird aber wieder nach der verschiedenen Construction des Mefsapparats und seiner Theile das Verfahren mehr oder weniger ein verschiedenes sein. Im Allgemeinen wird es aber hierbei darauf ankommen, alle die Theile von einander zu trennen, durch welche ein Zusammenhalten und eine Verbindung der beweglichen Achsen in ihren Büchsen erzielt wurde. Bei dem in Fig. 53. dargestellten Apparate mit einachsigem Rotationssystem ist daher nicht nur die Mutter v_1 abzuschrauben, wodurch die Verticalachse X gegen den Untersatz v des Dreifufses festgehalten wurde, sondern auch an dem Mikrometerwerk die durch die Mikrometerschraube bewirkte Vereinigung der drehbaren Alhidade gegen den feststehenden Limbuskreis zu lösen. Nach der verschiedenen Einrichtung des Mikrometerwerks wird aber das Verfahren wieder Modificationen erleiden. Findet sich an demselben die Mikrometerschraube mit der Kugel (§. 94.), deren Klemme, wie es meistens der Fall sein wird, mit der Halter- oder Deckplatte (§. 97.) verbunden ist, so wird die erwähnte Vereinigung der Alhidade mit dem Limbuskreise schon durch die Lösung der Klemmschraube und das dadurch mögliche Zurückziehen der Halterplatte mit der Mikrometerschraube von dem Limbuskreise gehoben. Da aber hierbei mitunter eine Verbiegung der Mikrometerschraube zu befürchten ist, so ist es im Allgemeinen zweckmäfsiger, die Vereinigung durch Losschrauben des Klobens der Klemme für die Mutter der Mikrometerschraube aufzuheben, wozu das Herausnehmen der versenkten Schraube, mit welcher der Kloben auf der Klemmplatte befestigt ist, und der zugehörigen Prefsschraube π oder π_1 (Figg. 72. und 73.) erforderlich ist; dann bleibt das Mikrometerwerk in unveränderter Lage mit dem Limbuskreise vereinigt.

Das Verfahren bleibt im Allgemeinen das nämliche, wenn die Mikrometerschraube mit der Kugel durch eine Differenzialschraube vertreten ist.

Bei dem Federmikrometer bedarf es nur des Lüftens der Klemmschraube K der Figg. 74. und 75. und des Zurückziehens der Halter- und der Deckplatte D von dem Kreisrande.

2. Für die Constructionen, bei welchen das Mikrometerwerk nicht unmittelbar mit dem zu hemmenden Theile in Verbindung steht, wie es bei dem Klemmringe K der Fig. 58. der Fall ist, bedarf es zur Aushebung der Verticalachse X zunächst des Losschraubens der Oesenmutter O, um durch Lösung der Mutter o die Achse von der Dreifufsbüchse A zu trennen; durch Zurückziehen der durch den Fortsatz K_1 gehenden Klemmschraube K_2 (Fig. 70.), wird dann die Achse sammt den mit ihr verbundenen Theilen von der Dreifufsbüchse A_1 zu trennen sein.

3. In Fig. 59. dagegen, wonach die Büchse A_1 sich um den mit dem Dreifufs zu einem Stück verbundenen Verticalzapfen drehen läfst, wird zunächst die Mutter v zu lösen sein, durch welche der Zapfen mit der Scheibe A_2 zusammengehalten wird. Da aber, wie Fig. 71. zeigt, die bewegliche Büchse A_1 mittelst des Klemmringes K, der Druckfeder φ und der Mikrometerschraube M mit dem Dreifufse verbunden ist, so wird es zur Trennung der Büchse von dem Zapfen noch der Lösung der Klemmschraube K_2 und der Zugschraube k bedürfen, wodurch dann der Klemmring von der Büchse A_1 und nun letztere von dem Zapfen X sich trennen läfst.

§. 107.

4. Bei den Constructionen, die ein zweiachsiges Rotationssystem besitzen, wird man vor der Aushebung der Alhidade aus der Kreisachse zunächst letztere von der Dreifufsbüchse zu trennen haben. In Fig. 61. wird daher die Prefsschraube d nicht zu lösen, an dem Mikrometerwerk mit der Differenzialschraube aber der Kloben derjenigen Klemme abzuschrauben sein, welche mit dem an die Dreifufsbüchse A_1 festgeschraubten Ringe und dessen Fortsatze p_1 ein Ganzes bildet.

Soll die Achse des untern Fernrohrs aus ihrer Büchse I_2 gezogen werden, so bedarf es nur der Lösung der Mutter, mit welcher das Achsenende an der erwähnten Büchse durch ihre Vorlegscheibe befestigt ist.

Um endlich die Büchse II von der Kreisachse G zu trennen, wird man zunächst die vier versenkten Schrauben zu lösen haben, durch welche der Arm N an der erwähnten Büchse befestigt ist.

Dann folgt die Lösung der vier versenkten Schrauben, die zur Verbindung des Stücks $I_1 I$ auf der linken Seite, mit dem Stück I auf der rechten Seite dienen. Dadurch kann alsdann der oberhalb des Mantels g liegende Theil der Kreisachse G freigelegt werden. Es ist indessen immer rathsam, die Trennung der Büchse des unteren Fernrohrs zuerst vorzunehmen, ehe die Kreisachse mit Zubehör aus der Dreifufsbüchse gezogen wird.

5. Um in der in Fig. 60. dargestellten Construction die Kreisachse G und die mit ihr noch verbundenen Theile von der Dreifufsbüchse A_1 zu trennen, wird man, nachdem in dem in Fig. 76. dargestellten zugehörigen Mikrometerwerke die Prefsschraube P gelüftet und die Mikrometerschraube M soweit gelöst ist, dafs der Arm K_1 sich vor den Anschlagzapfen z legt, wodurch zugleich die Druckfeder φ ihre geringste Spannkraft besitzen wird, nur den Mantel G_1 soweit zu heben haben, bis G die Dreifufsbüchse A_1 verlafsen hat.

§. 108.

6. Die Aushebung der Fernrohrachse nebst Zubehör aus den Achsenlagern der Stützen fordert bei der Construction in Fig. 77. aufser der Lüftung der

Schrauben d und M, nur noch eine geringe Zurückbiegung der Druckfeder φ; in Figg. 77. u. 78. aber noch eine Lösung der Mutter m, wodurch die Spiralfeder f zusammengepreſst wird und der Arm k_1 oder a dann den erforderlichen Spielraum erhält, um die Umdrehungsachse ausheben zu können.

Soll aber in der in Fig. 68. dargestellten Construction die Büchse B_1 des Alhidadenkreises V_1 von der Kreisbüchse B getrennt werden, so muſs man zunächst den Arm A_1 von A durch Lösung der zugehörigen Befestigungsschraube trennen; dann bedarf es nur noch der Lüftung der Preſsschrauben d und d_1, um die Alhidade von dem Kreise V abziehen zu können.

Daſs bei dem Herausnehmen einer einseitigen Fernrohrachse aus ihrer Büchse, wie solches die Figg. 65. u. 66. zeigen, nur die Schraube Σ aus ihrer Mutter gerückt und dann die Schraube m herausgeschraubt wird, bedarf kaum einer Erwähnung.

Durch diese Darstellungen möchte wohl der Anfänger in den Stand gesetzt werden, sich auch bei solchen Constructionen oder Einrichtungen zu helfen, die von den in dem Vorhergehenden zum Grunde gelegten mehr oder weniger abweichen.

§. 109.

7. Das **Reinigen** der innenliegenden Büchsen und Achsen oder Zapfen muſs nun mit einem Läppchen alten und weichen Leinens auf sorgfältige Weise vorgenommen werden. Es ist zur Abhaltung des sich wieder ansetzenden Staubes zweckmäſsig, die bereits gereinigten Büchsen an ihren offenen Enden mit einem Kork bis zum Einsetzen der Achse zu verschlieſsen. Ehe letzteres geschieht, theilt man den Mantelflächen der Kegel der Achse, die mit den homologen Flächen der Büchsen zur Berührung kommen, etwas Knochenöl mit, wenn die Achse von Stahl ist, hingegen eine geringe Masse einer Mischung von reinem Schweineschmalz und geschmolzenem Wachs, wenn eine von Rothguſs gearbeitete Achse in einer messingenen Büchse, oder umgekehrt, sich bewegen soll. Vor dem Einsetzen der Achsen müſsen aber bei den Kreisen noch die inneren Ränder des Limbus und der Alhidade sorgfältig von dem vorhandenen Staube mittelst eines weichen Pinsels gereinigt werden.

Schmutz auf den Silberstreifen des Limbus und der Verniere bringt man durch sanftes Reiben mit einem mit etwas Knochenöl befeuchteten leinenen Tuche weg; nur hüte man sich hierbei wohl, an den freiliegenden Rändern der Silberstreifen zu stark zu drücken. Später sich aufsetzender Staub wird sowohl an den genannten Theilen, als auch an anderen Stücken des Apparates, nur durch Bestreichen mit einem weichen Pinsel entfernt.

Um den Lack, mit welchem die aus Messing und Rothguſs gearbeiteten Stücke überzogen sind, nicht zu verletzen, dürfen solche mit einem mit etwas Knochenöl angefeuchteten weichen Leinentuche nur mit groſser Vorsicht gerieben werden.

Obgleich eigentlich blofs aufliegender Staub nur mit einem Pinsel entfernt werden soll, so wird man von dem eben angedeuteten Reinigen doch dann Gebrauch machen müfsen, wenn die Mefsapparate durch ihre Aufstellung in der Nähe des Meeres von Salztheilchen überzogen sich zeigen, oder wenn sie in Observatorien aufgestellt sind und gegen den durch die, wenn auch geschlofsenen Fenster und Klappen des Daches eindringenden Schmutz (z. B. feinen Kohlenstaub u. s. w.) nicht genügend gesichert werden können. In beiden Fällen müfsen auch sämmtliche Eisentheile, selbst die vortretenden Kopfflächen der versenkten Schrauben, um sie möglichst vor Rost zu schützen, von Zeit zu Zeit mit etwas Knochenöl bestrichen oder mittelst eines mit solchem Oel angefeuchteten leinenen Läppchens abgerieben werden. Dessen ungeachtet wird man es aber häufig nicht vermeiden können, dafs an einzelnen Stellen sich Rostflecke bilden. In diesem Falle bleibt nichts übrig, als solche Stellen mit etwas Oel zu benetzen und den Rost später durch Abreiben mit einem Läppchen möglichst zu entfernen *).

8. Unter allen Umständen ist aber den Stahlzapfen der Umdrehungsachsen des Fernrohrs die gröfste Sorgfalt zuzuwenden, da sie immer ungeschützt in ihren Lagern liegen und auch keinen Lack bekommen. Vor dem Beginnen einer Mefsung im Freien hat man daher sie sowohl, als ihre Lager sorgfältig von dem etwa anklebenden Staube zu reinigen und dann mit einem ölfeuchten Tuche einzureiben.

9. Sollte nach dem Reinigen der Silberstreifen an einigen Stellen ein erhöhter Glanz sich zeigen, der beim Ablesen der Theilung leicht nachtheilig werden könnte, so bringt man denselben dadurch weg, dafs man den Ballen des Daumens mit etwas Oel einreibt, ihn mit sanftem Druck auf die Theilung bringt und mit der anderen Hand den Kreis allmälig herumdreht.

10. Die Gewinde der freiliegenden Schrauben sind durch eine hinreichend scharfe Bürste vom Staube und Schmutz zu reinigen und dann ebenfalls mit einem ölfeuchten Läppchen einzureiben. Letzteres kann allenfalls bei Schrauben, die von Messing oder Rothgufs gearbeitet sind, unterlafsen werden.

§. 110.

11. Die Gläser des Fernrohrs werden dadurch gereinigt, dafs man sie zuerst mit einem mit Alkohol getränkten, besonders ausgewählten weichen leinenen Läppchen, darauf mit Kreidewafser, und zuletzt mit einem hiermit vorerst angefeuchteten aber darauf getrockneten leinenen Läppchen abreibt. Der hierdurch sich etwa aufsetzende Kreidestaub ist dann durch einen staubfreien weichen Pinsel zu entfernen. Bei den Huyghensschen Ocularen wird zu diesem Zweck zuerst das vordere Ocular mit seiner Fafsung abgeschraubt, während des

*) Indessen soll es der bekannten Officin der Herren Pistor und Martins in Berlin gelungen sein, einen Lack anzufertigen und anzuwenden, welcher auf sichere Weise vor dem Anlaufen oder Rosten schützt.

Reinigens desselben die Ocularröhre auf ihren offenen Rand gestellt, um das Fadenkreuz sorgfältig vor Staub zu schützen und darauf die Fafsung wieder eingeschraubt. Dafselbe Verfahren wendet man dann bei der Collectivlinse an. (Vgl. Fig. 26.)

Da bei dem Ramsdenschen Oculare beide Gläser, obgleich jedes für sich, in einer besonderen Fafsung in einer Röhre befestigt sind (vgl. Figg. 28. u. 29.), so wird zum Schutz des Fadenkreuzes nach dem Herausnehmen derselben die offene Seite der Ocularröhre sogleich zu verschliefsen sein. Das Reinigen der beiden Gläser wird dann auf die vorhin angegebene Weise wieder einzeln vorgenommen.

Ein ähnliches Verfahren ist bei dem orthoskopischen Oculare (Figg. 35. u. 21.) anzuwenden.

12. Da die Glasprismen des Fernrohrs (vgl. Figg. 32. a. 33. u. 35.) immer geschützt im Innern des Rohrs angebracht sind, so wird ein Reinigen derselben, wie es bei den Oculargläsern zuweilen nothwendig werden wird, nur selten erforderlich sein und dann durch ein Wegwischen des Staubes mit einem staubfreien weichen Pinsel erreicht werden können.

13 Das Reinigen der beiden Aufsenflächen des achromatischen Objectivs (vgl. Fig. 21.) wird eben so wie bei den Gläsern des Oculars ausgeführt und zu diesem Zwecke die Fafsung des Objectivs ausgeschraubt. Sollte aber zwischen die beiden Gläser des Objectivs sich Staub oder sonstiger Schmutz gesetzt haben, so möchte ich kaum dem Ungeübten rathen, das Reinigen selbst vorzunehmen, sondern lieber dafselbe von dem Mechaniker vornehmen zu lafsen, da auf die richtige Vereinigung beider Gläser und Festlegung der 3 Staniolblättchen Alles ankommt. Uebrigens findet sich dazu eine vortreffliche Anleitung von Fraunhofer selbst in Schumacher's astronomischen Nachrichten III. S. 187 und in Breithaupt's Magazin von mathematischen Instrumenten, Heft 2, S. 19. (§. 43. Anm.)

14. Das Verfahren, um neue Fäden des Fadennetzes einzuspannen, findet sich §. 56. vollständig beschrieben.

§. 87.

Das Wiederzusammensetzen der einzelnen Theile zu dem vollständigen Mefsapparat läfst sich in wenig Worten zusammenfafsen. Im Allgemeinen wird man dabei die umgekehrte Ordnung von der beobachten, in welcher man die Stücke von einander trennte. Bei dem Einsetzen der Verticalachse der Alhidade in die Kreisachsen- oder Dreifufsbüchse und ebenso bei der Vereinigung der Alhidade mit dem Höhenkreise hat man besonders darauf zu achten, dafs der Rand derselben nicht den äufseren Rand des silbernen Limbus verletzt. Dieselbe Sorgfalt ist beim Einlegen der Umdrehungsachse des Fernrohrs in ihre Lager anzuwenden, eine Regel, die auch bei den Prüfungen einzelner Theile des Mefs-

apparats stets zu befolgen ist. Hatte man bei der Trennung des beweglichen und festen Theils bei dem Verticalachsensystem den Kloben der einen Klemme gelöst (§. 106. 1.), so wird nach seiner Befestigung der Gang der Mikrometerschraube zu prüfen und dieser durch Anziehen oder Lösen der betreffenden Prefsschraube zu moderieren sein. Bei den Federmikrometern bedarf es nur des Anziehens der Mikrometerschraube, um ihr Ende mit dem Anschlagzapfen oder dem Arme des Ringes wieder in Berührung zu bringen, in einzelnen Fällen auch des Nachlafsens der Mutter, durch deren Anziehen beim Auseinandernehmen die Spiralfeder zusammengezogen wurde.

Bei den Ocularen endlich ist aus dem Vorhergehenden schon die Regel über das Einschrauben der Fafsungen der Gläser von selbst zu entnehmen.

Zweiter Abschnitt.

Theorie, Beschreibung und Gebrauch der Winkelmefser und ihrer Hülfsapparate.

Uebersicht der Winkelmefser und ihre Einrichtung im Allgemeinen.

§. 112.

Bei den Mefswerkzeugen mit fester Unterlage lafsen sich drei wesentlich verschiedene Arten von einander unterscheiden. Die erste Art begreift Apparate in sich, durch welche die Gröfse des Winkels unmittelbar im Gradmafse bestimmt werden kann. Sie können daher zweckmäfsig winkelmefsende Werkzeuge oder eigentliche Winkelmefser im engeren Sinne des Worts genannt werden. Schliefst man hier von den Winkelmefsern mit fester Unterlage das nur in der Astronomie gebrauchte Aequatoreal aus, so dienen sie zwar nur zur Bestimmung von Horizontal- (Azimuthal-) und Verticalwinkeln; allein dessen ungeachtet müfsen zu ihnen doch auch die keiner festen Unterlage bedürfenden Spiegelwerkzeuge (§. 1.) gerechnet werden, da diese die mit ihnen gemefsenen Vertical- und schiefliegenden Winkel unmittelbar im Gradmafs angeben. Von den verschiedenen Einrichtungen der zu dieser ersten Art gehörigen Mefsapparate wird später die Rede sein.

Mit den Mefswerkzeugen der zweiten Art können die auf dem Felde gegebenen Winkel unmittelbar nur durch Construction auf einer horizontal liegenden Ebene bestimmt werden, wobei also die Bestimmung der Verticalwinkel von selbst ausgeschlofsen wird. Sie bilden die winkelzeichnenden Werkzeuge. Dahin gehört der eigentlich winkelzeichnende Mefstisch oder die Mensel (von der veralteten Zollmann'schen Scheibe kann natürlich keine Rede mehr sein), als auch die Boussole. Denn wenn diese auch der Mefsapparat ist, durch welchen mittelst der Magnetnadel auf einem eingetheilten Kreise die Abweichungswinkel zweier auf dem Felde gegebenen, von einem Punkte ausgehenden Richtungen, von dem durch ihn gehenden magnetischen Meridian bestimmt werden sollen,

lesung auch die Meridianhöhen der culminierenden Gestirne gemefsen werden können. Endlich muss auch als hierher gehörig der ebenfalls auf einem Steinpfeiler ruhende Verticalkreis gerechnet werden. Diese drei Apparate gehören der praktischen Astronomie an und sollen daher hier nicht näher beschrieben werden. Eine vollständige Beschreibung und den Gebrauch derselben findet man in dem Werke: Description de l'Observatoire astronomique central de Poulkova, par F. G. W. Struve. St. Pétersbourg, 1845. In das Gebiet der praktischen Geometrie dagegen gehören zu den Höheninstrumenten der transportable Verticalkreis und die tragbaren Durchgangs- und Meridianinstrumente, mit welchen eigentlich nur solche astronomische Beobachtungen angestellt werden, deren der Geodät bei seinen Mefsungen bedarf.

Bei dem Verticalkreise trägt der Dreifufs eine hinreichend hohe Säule, in deren oberem Ende der obere Konus der Verticalachse rotieren kann, während der untere Konus derselben in dem Mittelstück des Dreifufses sich dreht, an seiner unteren Verlängerung aber den Azimuthalkreis trägt. Mit der Flansche der Verticalachse steht nicht nur ein durchbohrtes Parallelepipedum, das entweder ein ein- oder zweifaches Achsensystem des hinreichend grossen Verticalkreises aufnimmt, sondern auch ein Mantel in Verbindung, der die erwähnte Säule fast ganz umschliefst und bei dem zweifachen Achsensystem auch das Mikrometerwerk für den Limbuskreis enthält. Das ein prismatisches Ocular (§. 51.) enthaltende Fernrohr bildet mit dem rotierenden Vernierkreise ein Ganzes, sowie zur Balancierung dieser Theile Gegengewichte dienen, die auf dem erwähnten Parallelepipedum ihre Ruhepunkte haben. Die ein zweifaches Achsensystem enthaltenden Verticalkreise werden repetierende Verticalkreise genannt.

Die transportablen Durchgangsinstrumente und Meridiankreise stimmen mit den Verticalkreisen darin überein, dafs auch sie einen in gröfseren Dimensionen ausgeführten Verticalkreis mit dem ein- oder zweifachen Achsensystem, so wie einen am Dreifufse oder an seiner Säule befestigten kleineren Azimuthalkreis enthalten; sie unterscheiden sich aber besonders dadurch, dafs sie eine in Y förmigen Achsenlagern liegende längere Horizontalachse haben. Das Fernrohr ist, um es für alle Höhenobjecte gleich bequem zum Beobachten zu haben, entweder an dem einen Ende der Rotationsachse angebracht (§. 151. u. f. Figg. 87. u. 88.), oder es ist ein gebrochenes Fernrohr (Fig. 35.). In dem ersten Falle ist der Vertical- und Vernierkreis, oder der Mikroskopenträger an dem entgegengesetzten Ende der Umdrehungsachse an einer Flansche derselben befestigt, während ein zweiter Kreis, entweder zur Balancierung des ersteren, oder zugleich zum Aufsuchen und Einstellen, mit dem Fernrohr an einer Flansche der Rotationsachse sitzt. Ein hinreichend starkes massives Parallelepipedum, das an den Enden stumpfwinklicht nach Oben gebogen und an der Flansche der Verticalachse befestigt ist, bildet die Stütze der Rotationsachse. Da man durch den gröfseren oder kleineren Winkel, den die aufwärts auslaufenden Theile mit dem horizontal-

liegenden Parallelepipedum bilden, die Zapfenlager in einen gröfseren Abstand von einander bringen kann, als dies bei der für den Verticalkreis angegebenen Construction möglich ist: so liegt nicht allein hierin, sondern auch in der dadurch gegebenen Möglichkeit, die Umdrehungsachse leicht umlegen zu können, ein entschiedener Vortheil vor der oben angegebenen Construction des Verticalkreises. Die Last für die Zapfenlager wird gehoben durch Anbringung der im §. 93. beschriebenen Balancierungsvorrichtung.

Da alle diese Apparate blofs zu astronomischen Beobachtungen verwandt werden sollen, so dürfen auch die dazu erforderlichen Einrichtungen nicht fehlen, wohin die Beleuchtung des Fadennetzes (§. 56. 2.) für nächtliche Beobachtungen und die Einrichtung zur Verschiebung des Oculars mit einem Sonnenglase (§. 51.) gehört.

Zu den Höheninstrumenten gehören nun nicht nur die Spiegelwerkzeuge, wenn sie als Mefswerkzeuge für Sonnenhöhenbestimmungen gebraucht werden, sondern es müfsen zu ihnen auch die Nivellierwerkzeuge gezählt werden.

§. 114.

2. Sollen die Winkelmefser hauptsächlich nur die Bestimmung der Horizontalwinkel gestatten, so führen sie mit Rücksicht auf den im vorigen Paragraph gewählten Ausdruck „Höheninstrumente“ den Namen Azimuthalinstrumente, da streng genommen alle in Polygonen gemefsenen Horizontalwinkel nur Azimuthalunterschiede darstellen. Zu ihnen gehört eigentlich nur der mit dem Namen Theodolith *) belegte Winkelmefser. Seine wesentlichsten Theile bestehen in einem doppelt concentrischen Horizontal- und Alhidadenkreise, von welchen der letztere innerhalb des ersteren sich bewegt, in einem mit dem Alhidadenkreise verbundenen Aufsatze als Träger des in einer Verticalebene sich bewegenden Fernrohrs und endlich in einem Dreifufse, der die Unterlage der genannten Stücke bildet. Wird dabei nur ein einfaches Achsensytem angewandt, so wird der Apparat schlechthin Theodolith, oder einfacher Theodolith, bei einem zweifachen Achsensystem, da alsdann die zu mefsenden Horizontalwinkel nach der s. g. Repetitionsmethode, oder von verschiedenen Punkten des Limbus aus bestimmt werden können, Repetitionstheodolith genannt, von welchen die Figg. 53. 60. 61. u. 62. die nöthigen Constructionen enthalten. Wird, wie Fig. 62.

*) Es ist vielfach über die Herkunft dieses Namens gestritten worden und wird das betreffende Werkzeug auch häufig Theodolit, sogar das Theodolit genannt. Da aber dieser Winkelmefser, Statt des früher gebrauchten Borda'schen Repetitionskreises, zuerst nur bei gröfseren trigonometrischen und Gradmefsungen angewandt wurde und demselben dann, wie es auch jetzt noch geschieht, feste Unterlagen, wo möglich Steine, gegeben wurden, so möchte es keinem Zweifel unterworfen sein, dafs der Erfinder desselben den gewählten Namen aus den griechischen Wörtern θέα, das Anschauen, die Betrachtung, ὁδός, der Weg, aber auch Mittel und Weg, um etwas auszurichten und λίθος, der Stein gebildet, nicht aber dabei an λιτός, eben, schlicht, glatt, gedacht hat. Deshalb ist wohl „der Theodolith“ die allein richtige Schreibweise.

zeigt, mit dem zweifachen Achsensystem noch ein unteres Fernrohr (§. 209. und 214.) verbunden, das gegen den Limbuskreis eine Hemmung und zugleich eine feine Einstellung gestattet, so kann ein solcher Theodolith ein Multiplicationstheodolith genannt werden. Haben die Stützen des Fernrohrs eine solche Höhe gegen seine Länge, dafs das Fernrohr durchgeschlagen, d. h. ohne es aus seinen Lagern zu nehmen, ganz um seine Rotationsachse gedreht werden kann, so führt der Apparat den Namen Compensationstheodolith.

So lange nun diese verschiedenen Theodolithe bei geodätischen Aufnahmen nur zu Horizontalwinkelbestimmungen dienen sollen, ist ein Fernrohr ohne einen damit verbundenen Höhenkreis nicht allein ausreichend, sondern auch bequemer. Da aber der Theodolith auch zu Detailaufnahmen mit Vortheil benutzt wird, dabei auch nicht selten die Horizontalprojection von gegen den Horizont geneigten Linien zu bestimmen ist: so verbindet man bei solchen in kleineren Dimensionen ausgeführten Theodolithen die Fernrohrachse noch mit einem Höhenkreise, dessen Eintheilung vom Nullpunkte aus nach beiden Seiten mit wachsenden Ziffern bezeichnet ist, um auf einfache Weise daran sowohl Elevations- als Depressionswinkel ablesen zu können. Dazu reicht auch nur ein Vernier vollkommen aus, der dann an der einen Stütze so befestigt ist, dafs die Coincidenz seines Indexpunktes mit dem Nullpunkte nahezu bei horizontaler Lage des Fernrohrs Statt findet. Es wird später (§. 276.) gezeigt werden, wie der Indexfehler der Theilung bei etwa nicht Statt findender Coincidenz zu bestimmen ist.

§. 115.

3. Hat der Winkelmefser aber zwei Kreise von gleichen oder fast gleichen Dimensionen, von denen der eine zur Mefsung der Azimuthal- oder Horizontalwinkel, der andere zur Bestimmung der Verticalwinkel dient, oder hat er eine solche Einrichtung, dafs durch eine verschiedene Zusammensetzung einzelner Theile desselben der genannte Zweck erfüllt werden kann: so heifst er ein Azimuthal- und Höheninstrument, das, wie schon oben angedeutet, auf verschiedene Weise eingerichtet sein kann.

Es erscheint zweckmäfsig, bei diesen Mefsapparaten insbesondere in der Rücksicht eine Unterscheidung zu machen, je nachdem der Verticalkreis derselben blofs zur Mefsung der Höhen der Gestirne oder aufserdem noch zur Mefsung terrestrischer Höhenobjecte dienen soll. In dem ersten Falle würde es ganz überflüfsig sein, bei dem Verticalkreise ein zweifaches Achsensystem zur Anwendung zu bringen, da von Repetitionsbestimmungen oder Mefsungen von verschiedenen Punkten des Limbus aus, wie solche bei terrestrischen Objecten immer auszuführen sind, bei der Bestimmung der Höhe der Gestirne, wegen der steten Ortsveränderung derselben, keine Rede sein kann. Hat nun das zugehörige Fernrohr in Hinsicht auf sein Fadennetz und die Beleuchtung desselben u. s. w. die zu Gestirnbeobachtungen erforderlichen Einrichtungen und Bequemlichkeiten, so kann

ein so construierter Meſsapparat, abgesehen davon, ob der Horizontalkreis nach dem ein- oder zweifachen Achsensystem eingerichtet ist, zweckmäſsig ein astronomischer Theodolith genannt werden, da ein solcher Winkelmeſser ebensowohl die Bestimmung aller azimuthalen Winkel, als auch die Meſsung von Höhen der Gestirne gestattet. Bei ihm wird daher das Fernrohr entweder ein gebrochenes (§. 53.), oder an dem einen Ende der Umdrehungsachse angebracht und in diesem Falle mit einem prismatischen Ocular (§. 51.) versehen sein müſsen, da ein in der Mitte der Rotationsachse befestigtes und zum Durchschlagen eingerichtetes Fernrohr für kleine Zenithdistanzenbestimmungen untauglich sein würde. Gleichwohl können auch solche Constructionen mit demselben Namen belegt werden, bei welchen der nämliche nach dem zweiachsigen System eingerichtete Kreis in der einen Zusammensetzung mit einem Dreifuſs zum Meſsen der Horizontalwinkel, also als Repetitionstheodolith, in einer anderen Zusammensetzung aber auf einer verticalen Säule, die mit einem anderen, den Azimuthalkreis enthaltenden Dreifuſs in Verbindung steht, zum Meſsen der Höhen der Gestirne dient. In dieser zweiten Zusammensetzung erscheint das zweifache Achsensystem bei Gestirnbeobachtungen im Allgemeinen als ganz überflüſsig, nur bietet es bei der Meſsung von Sonnenhöhen dadurch einen Vortheil dar, daſs man schon vor dem Einstellen auf den einen Sonnenrand, bei geschloſsenem Vernierkreise, den Stand der Verniers ablesen kann, die Zeit zwischen dem ersten und zweiten Einstellen daher eine kürzere wird.

Soll der Verticalkreis aber zu terrestrischen Höhenbestimmungen dienen, so ist dabei ein zweifaches Achsensystem aus denselben Gründen zweckmäſsig, wie dies bei dem Horizontalkreise der Fall ist. Gestattet nun die Einrichtung des Apparats auſserdem noch die Beobachtung der Gestirne, so pflegt man solche Constructionen, bei denen sowohl der Horizontal- als der Verticalkreis ein zweifaches Achsensystem enthält, auſserdem aber die Beobachtung der Gestirne in jeder Lage mit Bequemlichkeit zuläſsig ist, Universalinstrumente zu nennen. Die Einrichtung wird noch vollkommener und die Bequemlichkeit noch erhöht, wenn bei den Meſsungen der Horizontalwinkel das gesammte Achsensystem des Verticalkreises mit einem zweiten Fernrohre ohne Verticalkreis vertauscht werden kann, das erstere System dagegen wieder die Stelle des Fernrohrs einnimmt, wenn bloſs Verticalwinkel gemeſsen werden sollen. Wollte man also auch die Meſsapparate, die sowohl für die Vertical- als Horizontalrotation ein zweifaches Achsensystem enthalten, aber der Einrichtung für astronomische Beobachtungen entbehren, mit einem eigenen Namen belegen, so würde der Ausdruck „repetierender Azimuthal- und Höhenkreis“ wohl ganz passend sein.

§. 116.

Die Spiegelwerkzeuge enthalten zwar ebenfalls einen eingetheilten Kreisrand und eine mit einem oder mehreren Verniers versehene Alhidade, allein sie unterscheiden sich von den in den vorigen Paragraphen erwähnten Winkelmefsern schon durch ihren, durch die abweichende Einrichtung bedingten Gebrauch. Auf der Ebene des Kreisrandes und im Mittelpunkte der beweglichen Alhidade finden sich nämlich zwei Planspiegel, deren einander zugekehrte spiegelnde Ebenen dann nahezu eine parallele Lage haben, wenn der Indexpunkt des Verniers der Alhidade mit dem Nullpunkte der Theilung zusammenfällt. Dem feststehenden Kreisspiegel gegenüber findet sich so in einem Ringe ein Fernrohr angebracht, dafs durch dafselbe, indem man über den Kreisspiegel hinweg sieht, das eine Winkelobject direct, von dem anderen aber, durch Drehung der Alhidade mit ihrem Spiegel, der zweite reflectierte Strahl gesehen wird. Es wird daher zur Bestimmung des durch die Drehung der Alhidade bezeichneten Winkels nur ein momentanes Stillhalten des Apparats, bis die beiden Bilder der Objecte an dem Faden des Fernrohrs zur Coincidenz gebracht sind, und daher keine feste Unterlage gefordert. Aus diesem Grunde sind diese Werkzeuge für den Nautiker von so grofser Wichtigkeit, da das stets schwankende Schiff keine feste Unterlage durch ein Stativ gestattet.

Der Kreisrand ist entweder ein Theil eines Kreises, ein Sechstel oder ein Achtel, daher die Werkzeuge dann Spiegelsextanten, Spiegeloctanten (Spiegelquadranten sind fast gar nicht gebräuchlich) genannt werden, oder ein Vollkreis, in welchem Falle sie Spiegel- oder Reflexionskreise heifsen. Diese haben insofern einen wesentlichen Vortheil vor den ersteren, dafs sie durch die Anbringung zweier Verniers den gemefsenen Winkel immer frei von dem etwa vorhandenen Excentricitätsfehler geben, dessen Vorhandensein bei den Sextanten u. s. w. nur durch Vergleichung des mit ihnen gemefsenen Winkels, mit dem durch einen anderen Apparat mit eliminierter Excentricität gemefsenen Winkel erkannt werden kann. Mit einigen der kleineren Spiegelsextanten ist auch noch eine Einrichtung verbunden, dafs der auf dem Kreisrande abgeschnittene Winkel auch sogleich verzeichnet werden kann. Solche Werkzeuge sind unter dem Namen der katadioptrischen Zirkel und Spiegellineale bekannt.

Die meisten der erwähnten Apparate (die nicht mit Vollkreisen versehenen immer) sind aber nur mit einem einfachen Achsensystem versehen. Bringt man bei ihnen ein zweifaches Achsensytem an, so nennt man sie repetierende Reflexionskreise, wohin u. a. der Borda'sche Reflexionskreis gehört.

Da aber bei der Anwendung der Glasspiegel mit der Gröfse des zu mefsenden Winkels die Undeutlichkeit des zweifach reflectierten Bildes zunimmt, so wird in letzterer Zeit der Kreisspiegel häufig durch ein Glasprisma vertreten und dabei dann das bekannte physikalische Gesetz der totalen Reflexion zur Anwendung gebracht. Eine solche Construction zeigt der von Pistor und Martins

früher patentirte Reflexionskreis. Bei dem Steinheil'schen Prismenkreise sind bei einem Vollkreise mit zweifachem Achsensystem sogar beide Spiegel durch Glasprismen von gleichschenklicht-rechtwinklichtem Durchschnitt über dem Mittelpunkt der Theilung so senkrecht über einander angebracht, dafs das eine mit dem drehbaren Kreise, das andere nur mit dem Vernierkreise in Verbindung steht. Mit diesem Apparate, der aus mehrfachen, später angegebenen Gründen entschieden einen Vorzug vor allen anderen Spiegelwerkzeugen verdient, ist in neuerer Zeit auch noch ein leicht transportables Stativ verbunden, das die Mefsung der schiefliegenden und Verticalwinkel höchst bequem macht, aber auch die Beobachtung der Winkel aus freier Hand mittelst eines anzuschraubenden Handgriffs nicht ausschliefst.

§. 117.

Obgleich, wie auch schon im §. 113. erwähnt, die Spiegelwerkzeuge den s. g. Höheninstrumenten beigezählt werden können und in dieser Eigenschaft auch vorzugsweise von dem Nautiker und dem reisenden Geographen angewandt werden, so bilden sie bei der Bestimmung der s. g. schiefliegenden Winkel doch eine eigene Klasse von Winkelmefsern, da sie zur Bestimmung derselben keines Stativs bedürfen. In dieser Eigenschaft kann insbesondere der Steinheil'sche Prismenkreis dann mit Vortheil angewandt werden, wenn der Scheitelpunkt des zu mefsenden Winkels die Aufstellung eines gröfseren Stativs und dadurch die Anwendung eines zugehörigen Winkelmefsers nicht gestattet. Es darf indessen nicht übersehen werden, dafs der Prismenkreis nicht die eigentlich geforderte Horizontalprojection des Winkels, sondern diesen selbst, d. h. den Naturwinkel giebt, den die Schenkel mit einander einschliefsen, dafs aber bei den meisten geodätischen Bestimmungen noch die Reduction defselben auf den Horizont gefordert wird, wozu indessen, wie später gezeigt wird, auch noch die Gröfse der Verticalwinkel, welche die schiefliegenden Schenkel mit dem Horizonte bilden, erforderlich ist und die Anwendung eines Hülfsapparats, des künstlichen Horizonts, nothwendig macht. Dieses Umstandes wegen wird die Anwendung eines Spiegelwerkzeugs bei Horizontalaufnahmen immer nur eine beschränkte genannt werden können.

ERSTES CAPITEL.

Die Winkelmefser mit fester Unterlage.

§. 118.

Bei der Anwendung der in §§. 113. 115. und 116. erwähnten tragbaren Verticalkreise und Durchgangsinstrumente, astronomischen Theodolithe, Universalinstrumente und Spiegelwerkzeuge in der s. g. höheren Geodäsie, der Nautik u. s. w. hat man es mit der Bestimmung des Orts der Sonne, des Mondes und anderer Gestirne zu thun. Da nun diese uns als auf einer hohlen Kugelfläche projiciert erscheinen, ein Punkt auf der Oberfläche einer Kugel aber mittelst sphärischer Coordinaten, die auf bestimmte gröfste Kreise der Kugel bezogen werden, festgelegt wird: so wird es hier zunächst darauf ankommen, aus der sphärischen Astronomie diejenigen gröfsten Kreise der Himmelskugel, auf welche die Oerter der Gestirne bezogen werden müfsen, kennen zu lernen.

Wegen der Achsendrehung unserer Erde scheinen uns die Himmelskörper in einer fortwährenden Bewegung sowohl gegen den Standort unserer Erde, als auch gegen bestimmte der vorhin erwähnten gröfsten Kreise zu sein. Deshalb wird es bei Festlegung des Orts eines Gestirnes, aufser der Beobachtung für die Lagenbestimmung, auch noch der Angabe der Zeit bedürfen, für welche die Lage Statt hatte. Es ist daher auch die Kenntnifs des Zeitmafses von der gröfsten Wichtigkeit.

Da endlich durch den Standpunkt des Beobachters auf der Oberfläche der sich drehenden Erde, so wie durch die Geschwindigkeit und die durch die Erdatmosphäre bewirkte Brechung des Lichts die beobachteten Gestirne nicht genau an dem Punkte des Himmels sich befinden, wo sie dem Auge erscheinen, so bedürfen die gemachten Beobachtungen noch einer Verbefserung, deren Kenntnifs deshalb ebenfalls dem Gebrauche der Mefsapparate vorangehen mufs.

I. Die gröfsten Kreise der Himmelskugel, die zur Ortsbestimmung der Gestirne dienen.

§. 119.

1. Von einem Punkte einer freien Gegend erscheint uns die Erdoberfläche als eine von einer Kreislinie begränzte Ebene, der Himmel mit seinen Gestirnen als eine darüber gespannte Halbkugel, die mit der Erde denselben Mittelpunkt hat. Jene Ebene wird der scheinbare Horizont*), die durch den Mittelpunkt

*) Von ὁρίζειν, begränzen.

der Erde gehende, mit ihr parallele Ebene der wahre Horizont des Beobachtungsorts genannt. Bei den Beobachtungen der Fixsterne kann man wegen ihrer unendlichen Entfernung den Halbmeſser der Erde als verschwindend klein annehmen und daher beide Horizonte in dem Mittelpunkte der Erde zusammenfallend sich vorstellen. Dann bedient man sich des Ausdrucks: Horizont des Beobachters.

Die durch den Mittelpunkt der scheinbaren Himmelskugel auf den Horizont errichtete Senkrechte trifft die Himmelskugel in zwei Punkten, als Polen des Horizonts. Der über letzterem liegende heiſst das Zenith *), der entgegengesetzt liegende das Nadir **) des Beobachtungsortes. Kleine Kreise der Himmelskugel, welche dem Horizonte parallel sind, pflegt man Almukantharats ***) zu nennen.

2. Vermöge der täglichen Achsenumdrehung unserer Erde von Westen, durch Süden nach Osten, scheint die Himmelskugel, an welcher die Gestirne, mit Ausnahme der Weltkörper unseres Sonnensystems, stets denselben Ort einnehmen, sich um eine Gerade — die Weltachse — in entgegengesetzter Richtung zu drehen, deren Endpunkte in der Himmelskugel in der nach beiden Seiten verlängerten Erdachse liegen und es scheinen alle Fixsterne in der nämlichen Richtung parallele Kreise zu beschreiben, die auf der erwähnten Geraden normal stehen und von denen deshalb die kleinen Kugelkreise Parallelkreise genannt werden. Den auf der nördlichen Halbkugel liegenden Endpunkt der Weltachse nennt man den Nordpol, den anderen den Südpol. Der durch den Erdmittelpunkt normal zur Erdachse gelegte gröſste Kreis der Himmelskugel heiſst der Aequator †), welcher die Erde in dem Erdäquator schneidet.

Durch den Aequator wird die Himmels- und Erdkugel in die nördliche und südliche Hemisphäre getheilt.

Alle durch das Zenith eines Beobachtungsortes gelegten gröſsten Kreise der Himmelskugel werden, weil sie normal zum Horizont stehen, Verticalkreise und derjenige von ihnen, der zugleich durch die Weltachse geht, der Meridian des Beobachtungsortes genannt. Er schneidet die Erde in dem Erdmeridian und steht demnach sowohl auf dem Horizont, als auf dem Aequator normal. Die Durchschnittslinie des Horizonts und Meridians heiſst die Mittagslinie des Orts. Der in der nördlichen Halbkugel liegende Endpunkt derselben wird der Nord- oder Mitternachtspunkt, der andere der Süd- oder Mittagspunkt genannt. Die von diesen im Horizont um 90° abstehenden, mithin ebenfalls im Aequator liegenden Punkte heiſsen der Ost- oder Morgen- und der West-

*) Vom Arabischen semt, Weg, vollständiger semt-ur-râs, Weg des Kopfes.
**) Vom Arabischen nadir, nazir gegenüberliegend.
***) Vom Arabischen qantara, bogenartig gekrümmt.
†) Vom Lateinischen aequare, gleich machen.

oder Abendpunkt; ersterer ist derjenige, in welchem ein Aequatorgestirn bei der scheinbaren Bewegung der Himmelskugel über den Horizont tritt, d. h. aufgeht. Durch den Meridian wird die Himmels- und Erdkugel für den Beobachtungsort in die östliche und westliche Hemisphäre getheilt.

Endlich wird der durch den Ost- und Westpunkt gehende Verticalkreis der erste Vertical des Beobachtungsorts genannt.

3. Vermöge der jährlichen Bewegung der Erde um die Sonne, ebenfalls in der Richtung von Westen, durch Süden nach Osten, scheint die Sonne, oder vielmehr ihr Mittelpunkt im Laufe einer Umwälzung, d. h. in einem Jahre, in derselben Richtung einen gröfsten Kreis der Himmelskugel zu beschreiben, welcher gegen den Aequator unter einem Winkel von nahe $23\frac{1}{2}$ Grad geneigt ist und die Sonnenbahn oder Ekliptik *) genannt wird. Der erwähnte Winkel heifst die Schiefe der Ekliptik.

Die Durchschnittspunkte der Ekliptik mit dem Aequator heifsen die Aequinoctial- oder Tag- und Nachtgleichenpunkte. (Ueber den Grund dieser Benennung vgl. m. §. 127.) Derjenige von ihnen, in welchen die Sonne bei ihrem scheinbaren Umlauf aus dem südlichen Theil der Ekliptik in den nördlichen tritt, wird der Frühlings- oder Widderpunkt, der andre der Herbst- oder Wagenpunkt genannt. Die beiden Punkte der Ekliptik, welche von jenen um 90^0 abstehen, heifsen die Sonnenwende-, auch Solstitialpunkte **), und zwar der in dem nördlichen Theil der Ekliptik liegende der Sommer-, der andere der Wintersolstitialpunkt.

§. 120.

Durch die in dem vorigen Paragraphen angegebenen gröfsten Kreise der Himmelskugel wird man in den Stand gesetzt, die Lage oder den Ort eines Gestirns zu bestimmen.

1. Vermittelst des Horizonts und des Meridians eines Beobachtungsorts kann man zu einer bekannten oder gemefsenen Zeit den Ort eines Gestirns dadurch bestimmen, dafs man durch dasselbe einen Verticalkreis legt und in diesem den sphärischen Abstand des Gestirns vom Horizonte, seine Höhe, oder vom Zenith, seine Zenithdistanz, ausserdem aber noch den sphärischen Winkel mifst, den der Verticalkreis des Gestirns mit dem Meridian, als dem Anfangs-Verticalkreise, bildet. Letzterer Winkel wird das Azimuth*) des Gestirns genannt und meistens vom Südpunkte aus, auf dem Horizonte nach Westen hin, also der scheinbaren täglichen Bewegung der Gestirne entsprechend, gemefsen. Man theilt deshalb den Horizont in 360 Grade (^{0}), jeden Grad in 60 Minuten ($'$) und jede Minute in

---

*) Von ἔκ-λειψις, das Verschwinden, Ausbleiben, weil in der Nähe dieses gröfsten Kreises die Sonnen- und Mondfinsternisse sich ereignen.

**) Von sol, die Sonne und sistere, zum Stehen bringen.

***) Vom Arabischen as-sumût, der Weg (den der Verticalkreis beschreibt).

60 Sekunden ("). Zur Ablesung der Höhe eines Gestirns theilt man den über dem Horizonte liegenden Halbkreis des Verticalkreises, da dieser bei den Beobachtungen der Gestirne nur allein in Betracht kommt, vom Horizonte aus in 180 Grade, Minuten und Sekunden. Zuweilen rechnet man die Azimuthe vom Südpunkte aus nach Westen und Osten bis 180° und unterscheidet dann westliche und östliche Azimuthe.

Bestimmt man die Höhe eines Gestirns im Meridian, wobei also das Azimuth desselben = 0 ist, so heifst sie die Meridianhöhe und nennt den Durchgang durch den Meridian seine Culmination *). Die Lage des Meridians hängt von der Lage der Weltachse, oder von der Entfernung des Nordpols vom Horizont ab. Diese legt sich aber durch das Azimuth und die Meridianhöhe des Nordpols fest, welche man die Polhöhe des Beobachtungsortes nennt. Verschiedene Methoden, die Polhöhe eines Orts zu bestimmen, werden später angegeben werden. Das Complement der Polhöhe nennt man die Aequatorhöhe.

In der Folge soll die Höhe eines Gestirns stets durch h, die Zenithdistanz ($= 90^0 - h$) durch z, das Azimuth durch A, die Polhöhe eines Orts durch φ, die Aequatorhöhe also durch $90^0 - \varphi$ bezeichnet werden.

Zu der Mefsung der Höhen (oder Zenithdistanzen) und der Azimuthe der Gestirne wendet man die in den §§. 113—115. erwähnten Höheninstrumente, astronomische Theodolithe und Universalinstrumente an. Kennt man an ihnen also die Punkte, welche dem Horizont oder Zenithpunkte, als dem Anfangspunkte der Höhen oder Zenithdistanzen zugehören und den Punkt auf dem Azimuthalkreise, welcher dem Anfangspunkte des Azimuths entspricht, so kann man durch das auf das Gestirn gerichtete Fernrohr auf den Kreisrändern, die eine der Bewegung des Fernrohrs entsprechende Bezeichnung ihrer Grade u. s. w. haben, den scheinbaren Ort der Gestirne bestimmen. Zu der Bestimmung der Höhen der Gestirne, ohne Azimuthe, dienen auch die im §. 116. erwähnten Spiegelinstrumente.

§. 121.

Um mittelst des Aequators oder des Meridians eines Ortes die Lage eines Gestirns zu bestimmen, denkt man sich durch die Weltachse und die Gestirne wieder gröfste Kreise gelegt, die daher auf dem Aequator normal stehen und in Bezug auf die Gestirne Stundenkreise genannt werden. Zu ihnen kann man auch die im §. 119. 2. erwähnten Meridiane rechnen, von welchen sie sich aber dadurch wesentlich unterscheiden, dass die Meridiane der Erde sich mitdrehen, die Stundenkreise aber der unbeweglichen Himmelskugel angehören. Bestimmt man nun zu einer bestimmten Zeit in den Stundenkreisen den sphärischen Abstand des Gestirns vom Aequator ab, in nördlicher und südlicher Richtung, aufserdem aber noch den sphärischen Winkel, welchen der Stundenkreis des Gestirns

*) Von culmen, der Gipfel.

mit dem Meridian in der bekannten Zeit einschliefst: so wird für die letztere der Ort des Gestirns sich festlegen. Den erwähnten Abstand nennt man des Gestirns Abweichung oder Declination, welche positiv oder negativ genommen wird, je nachdem das Gestirn nördlich oder südlich vom Aequator liegt, wefshalb man auch wohl nördliche und südliche Declination von einander unterscheidet. Der Abstand des Gestirns vom Nordpol wird die Polardistanz defselben genannt, welche daher die Declination immer zu 90° ergänzt.

Zur Messung der Declinationen theilt man die Stundenkreise, die man defshalb auch wohl Declinationskreise nennt, vom Aequator ab in nördlicher und südlicher Richtung in Grade, Minuten, Sekunden.

Den vorhin genannten sphärischen Winkel nennt man den Stundenwinkel des Gestirns, defsen Mafs daher im Aequator liegt. Man theilt diesen vom Meridian ab nach Westen zu, also der Richtung der scheinbaren Bewegung des Himmels entsprechend, in 24 gleiche Theile, Stunden (^{h}), jede Stunde in 60 Minuten (^{m}) und jede Minute in 60 Sekunden (^{s}), oder auch in 360 Grade u. s. w.

In der Folge soll die Declination eines Gestirns stets durch $\pm\,\delta$, der Stundenwinkel defselben durch t bezeichnet werden.

§. 122.

3. Da aber vermöge der Rotation der Erde für den Meridian eines Beobachtungsorts die Lage der Gestirne sich in jedem Augenblicke ändert; so können die in den §§. 120. und 121. angegebenen Bestimmungsarten nicht für alle Zeiten den Gestirnen unverändert zukommen. Statt des Stundenwinkels bestimmt man daher den sphärischen Winkel, den der Declinationskreis des Gestirns mit dem durch den Widderpunkt gelegten Declinationskreise bildet und nennt diesen die gerade Aufsteigung oder Rectascension (ascensio recta) des Gestirns. Das Mafs dieses Winkels liegt ebenfalls im Aequator, den man aber vom Widderpunkte ab, um für nachfolgende Beobachtungen gröfsere Zahlenwerthe zu erhalten, in östlicher, also in einer mit der Revolution der Erde übereinstimmenden Richtung, ebenfalls in 24 Stunden u. s. w., zuweilen aber auch in 360 Grade u. s. w. eintheilt. Die Rectascension eines Sterns soll in der Folge durch α oder auch durch AR bezeichnet werden.

Um aber durch die Rectascension und Declination eines Gestirns für einen bestimmten Augenblick den Ort defselben zu erhalten, mufs für denselben Moment auch der Ort des Widderpunktes bekannt sein. Dieser ist aber in den astronomischen Ephemeriden durch die Rectascension der s. g. Fundamentalsterne von 10 zu 10 Tagen, für die Sterne α und δ ursae minoris sogar für jeden Tag, besonders aber für den mittleren Mittag, durch die Sternzeit gegeben, worunter man den Stundenwinkel des Widderpunktes versteht. Durch Interpolation kann man die Sternzeit auch leicht, wie in der Folge gezeigt wird, für jeden Ort der Erde, dessen Polhöhe und Längenunterschied gegen den

Ort der Ephemeriden bekannt ist, für jeden Tag finden. Ist der Widderpunkt im Meridian, also der Stundenwinkel $= 0$, so ist 0^h Sternzeit. Der Zeitraum zwischen zwei aufeinanderfolgenden Culminationen des Widderpunktes oder eines beliebigen Fixsterns wird der Sterntag genannt, den man in 24 Stunden u. s. w. eintheilt.

Da nun aber offenbar der Widderpunkt um eben so viel früher als irgend ein Gestirn durch den Meridian geht, als die Rectascension des Gestirns beträgt, so ist, wenn man die Sternzeit durch Σ bezeichnet,

$$\Sigma = \alpha + t. \qquad [1]$$

Für $t = 0$ wird daher

$$\Sigma = \alpha$$

oder jedes Gestirn culminiert zu einer Sternzeit, welche der (in Zeit ausgedrückten) Rectascension des Sterns gleich ist.

§. 123.

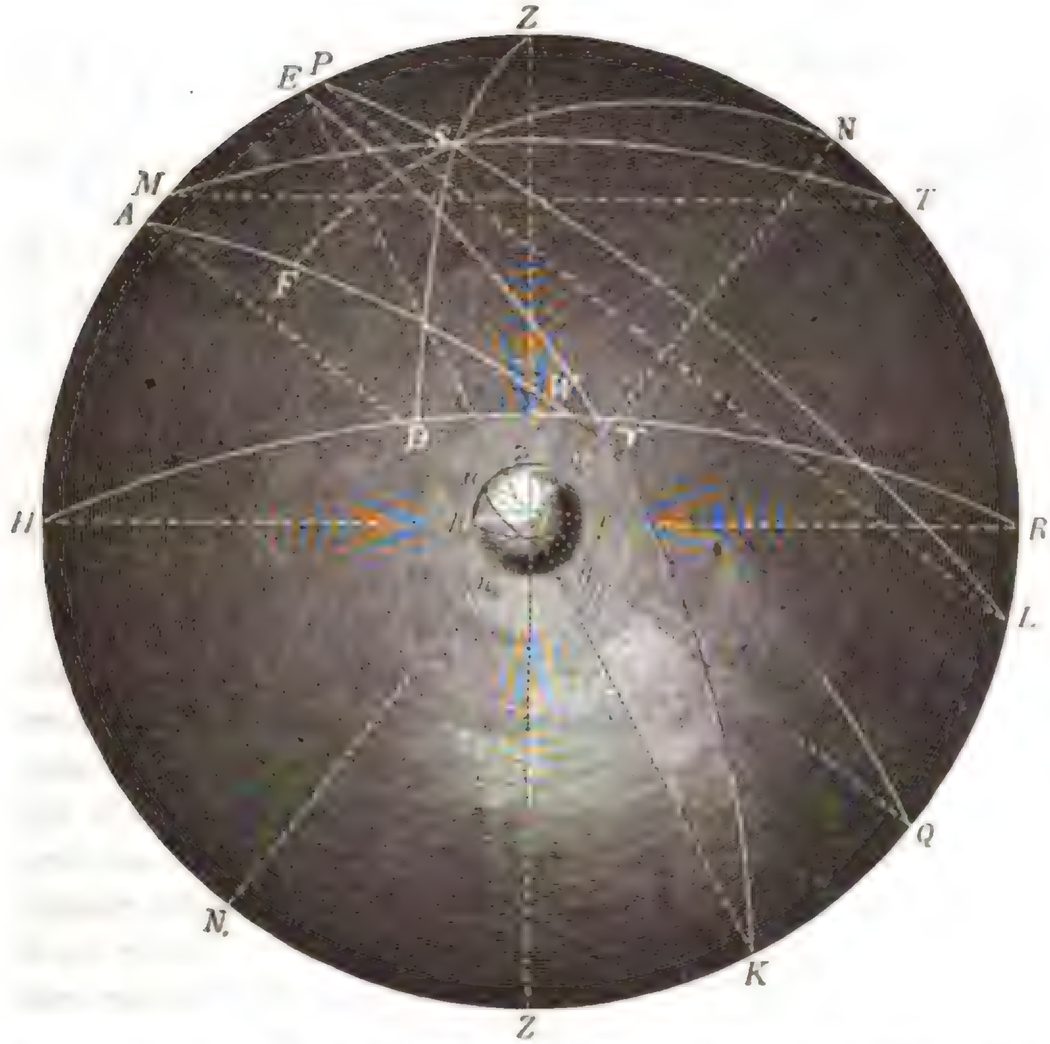
Zu der unmittelbaren Bestimmung der Rectascension und Declination der Gestirne kann man auch eigens dazu construierte Instrumente anwenden, die ähnlich wie das Azimuthal- und Höheninstrument aus zwei aufeinander normal stehenden Kreisen bestehen. Nur hat bei ihnen die Hauptachse eine mit der Weltachse, der auf ihr normal stehende Kreis daher eine mit dem Aequator parallele Richtung, während der andere, das Fernrohr tragende Kreis mit den Stunden- oder Declinationskreisen des Himmels parallel ist. Ist also auf dem ersteren Kreise der Anfangspunkt der Stundenwinkel, auf dem andern der Pol- oder Aequatorpunkt gegeben, so wird an dem Instrumente durch das auf ein Gestirn gerichtete Fernrohr die Rectascension und Declination deſselben unmittelbar abgelesen werden können. Man nennt solche Apparate Aequatoreale oder parallactische Instrumente. Da aber der Geodät hauptsächlich solche astronomische Beobachtungen anstellt, die theils bei der Aufstellung des Meſsapparats in dem Meridian des Beobachtungsortes, theils bei Zeitbestimmungen und der Regulierung der Uhr, theils bei Polhöhebestimmungen, oder auch bei der Festlegung einer auf der Erdoberfläche gegebenen Richtung gegen den Meridian erforderlich sind, dazu aber immer nur solche Fixsterne benutzt werden, deren Rectascension und Declination in den astronomischen Ephemeriden gegeben ist: so sind die Aequatoreale für ihn auch entbehrlich.

§. 124.

Zur Erläuterung der in den vorigen Paragraphen angegebenen Begriffe dient Fig. 82., in welcher durch den kleineren Kreis die Erdkugel, durch den gröſseren die westliche Hälfte der hohlen Himmelskugel dargestellt werden soll.

Für den Ort z auf der Erde bezeichnet HDR den (wahren) Horizont, welcher die Erde in hr schneidet, Z sein Zenith, Z_1 sein Nadir, NN_1 die Weltachse,

Fig. 82.



N den Nord-, N_1 den Südpol und $HZNR$ den Meridian, also HR die Mittagslinie, H den Süd- und R den Nordpunkt derselben.

Ferner stellt $A\Upsilon Q$ den Aequator, aq den Erdäquator, also za die geographische Breite, sowie W den West- und den diametral gegenüberliegenden, O den Ostpunkt defselben, PSL den Parallelkreis und MST den Almukantharat des Sterns S vor.

$E\Upsilon K$ bezeichnet die Ekliptik, ♈ den Frühlingspunkt, dem diametral gegenüber der Herbstpunkt ♎ gedacht werden mufs. Der sphärische Winkel $A\Upsilon E$ stellt die Schiefe der Ekliptik vor, deren Mafs der Meridianbogen $AE = QK$ ist. 90° von ♈ ab, nach E hin, ist also der Wendepunkt des Krebses ♋ und diesem diametral gegenüber der Wendepunkt des Steinbocks ♑ zu denken.

Für den Stern S ist ZSD ein Theil seines Verticalkreises, NSF ein Theil seines Declinations- oder Stundenkreises, also DS seine Höhe, SZ seine Zenithdistanz, SF seine nördliche Declination, also SN seine Polardistanz und $F\Upsilon$ seine Rectascension.

Ferner bezeichnet für den Ort z, NR die Polhöhe, also $ZN = AH$ die Aequatorhöhe; da nun

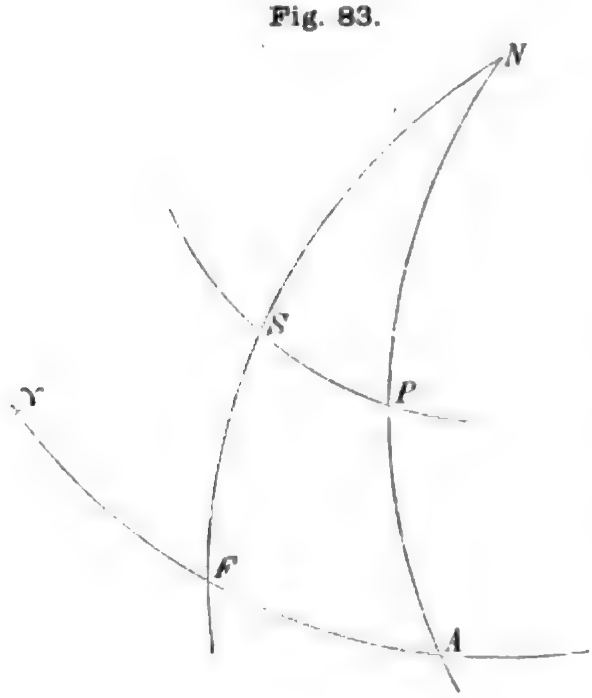
$$az\ (= AZ) + ZN = ZN + NR = 90^0,$$

so ist $$az = NR,$$

also die geographische Breite eines Orts immer seiner Polhöhe gleich.

Da ferner $HZNR$ der Meridian des Orts z ist, so ist der sphärische Winkel ZNF der Stundenwinkel des Sterns S, dessen Mafs der Aequatorbogen AF ist und der sphärische Winkel HZD das Azimuth desselben, dessen Mafs der Bogen HD des Horizonts darstellt. Den dritten Winkel des sphärischen Dreiecks ZNS, nämlich NSZ, nennt man den parallactischen Winkel des Sterns. Dieser soll in der Folge stets durch p bezeichnet werden.

Fig. 83.



Steht demnach in Fig. 83. ein irgend einem Parallelkreise PS angehöriger Stern in dem Meridian des Orts, in P, so ist seine Rectascension $♈A$ der Sternzeit gleich, d. h. $\Sigma = \alpha$ (§. 122.); bei der scheinbaren Bewegung des Himmels von Osten nach Westen kommt aber der Declinationskreis NPA in die Lage NSF und es bildet nun letzterer mit dem Meridian den Stundenwinkel $SNA = t$, welcher durch den Bogen AF des Aequators gemefsen wird und daher

$$♈A = ♈F + FA, \text{ d. h. } \Sigma = \alpha + t$$
(§. 122.)

§. 125.

In der sphärischen Astronomie wird der Ort eines Gestirns auch noch durch seine Lage gegen die Ekliptik festgelegt. Denkt man sich nämlich durch den Pol der Ekliptik gröfste Kreise gelegt, welche man Breitenkreise nennt, und bestimmt in denselben sowohl den Abstand des Sterns von der Ekliptik, als auch den sphärischen Winkel, den der Breitenkreis des Sterns mit dem durch den Widderpunkt gelegten Breitenkreise bildet, in der nämlichen Richtung, in welcher die Rectascensionen gezählt wurden, so ergiebt sich die Lage des Gestirns. Den ersteren Abstand nennt man die Breite des Sterns, welche, wie die Declination in nördliche oder positive und in südliche oder negative unterschieden wird. Den erwähnten sphärischen Winkel nennt man die Länge des Gestirns. Der durch den Widderpunkt gelegte Breitenkreis heifst der Kolur*) der

*) Von κόλ-ουρος, stutzschwänzig, weil ein Theil der Koluren unsichtbar ist.

Nachtgleichen, der, welcher von ihm 90° Abstand hat, der Kolur der Sonnenwenden. Uebrigens werden Längen und Breiten der Gestirne nie unmittelbar beobachtet, sondern aus ihrer Rectascension und Declination und der Schiefe der Ekliptik abgeleitet.

§. 126.

Da jeder Ort der Erde sein eigenes Zenith hat, so wird zur Bestimmung seiner Lage, der Ort des Zeniths gegen den einen Pol und der sphärische Winkel zu bestimmen sein, den sein Meridian mit dem Meridian eines bereits bekannten oder als bekannt angenommenen Ortes bildet. Nach §. 124. ist nun der Abstand des Zeniths vom Pol der Aequatorhöhe des Orts gleich; zu dem ersten Meridian aber nimmt man meistens die Pariser- oder Greenwicher Sternwarte und nennt dann den Abstand des Meridians des Orts vom ersten Meridian, auf dem Erdäquator in östlicher Richtung gemefsen, die geographische Länge des Orts. Geht aber durch den zur Vergleichung dienenden Ort nicht der erste Meridian, so wird der sphärische Winkel beider Meridiane der Längenunterschied der beiden Oerter genannt. Die geographische Breite wird, wie die Declination eines Gestirns, in nördliche und südliche unterschieden und stets im Bogenmafs, die geographische Länge dagegen sowohl im Bogen- als Zeitmafs ausgedrückt.

§. 127.

In dem sphärischen Dreieck SZN (Fig. 82.), welches in der westlichen Hemisphäre liegend gedacht werden mag und von dem Nordpol N, dem Zenith Z des Beobachtungsorts z und einem Stern S gebildet wird, sind die 3 Winkel:

$$ZNS = t,\ NZS = 180^0 - A,\ NSZ = p$$

und die 3 Seiten: $ZS = 90^0 - h$, $SN = 90^0 - \delta$, $ZN = 90^0 - \varphi$.

Erhebt man nun die bekannten Grundformeln der sphärischen Trigonometrie

$$\left.\begin{aligned}\cos a &= \cos b \cos c + \sin b \sin c \cos A\\ \cos b &= \cos a \cos c + \sin a \sin c \cos B\\ \cos c &= \cos a \cos b + \sin a \sin b \cos C\end{aligned}\right\}\ [2]$$

und

$$\left.\begin{aligned}\sin a \sin B &= \sin b \sin A\\ \sin a \sin C &= \sin c \sin A\\ \sin b \sin C &= \sin c \sin B\end{aligned}\right\}\ [3]$$

zum Quadrat, addiert beide Quadrate und wendet auf einzelne Glieder der Summe die Formel $\sin \varphi^2 + \cos \varphi^2 = 1$ an, so erhält man durch Umänderung der Vorzeichen

$$\left.\begin{aligned}
\sin a \cos B &= \cos b \sin c - \sin b \cos c \cos A \\
\sin a \cos C &= \cos c \sin b - \sin c \cos b \cos A \\
\sin b \cos A &= \cos a \sin c - \sin a \cos c \cos B \\
\sin b \cos C &= \cos c \sin a - \sin c \cos a \cos B \\
\sin c \cos A &= \cos a \sin b - \sin a \cos b \cos C \\
\sin c \cos B &= \cos b \sin a - \sin b \cos a \cos C.
\end{aligned}\right\} \quad [4]$$

Werden nun diese Formeln auf das Dreieck SZN in Fig. 82. bezogen, so ergiebt sich

$$\left.\begin{aligned}
\sin h &= \sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \cos t \\
\sin \delta &= \sin h \sin \varphi - \cos h \cos \varphi \cos A \\
\sin \varphi &= \sin h \sin \delta + \cos h \cos \delta \cos p;
\end{aligned}\right\} \quad [5]$$

$$\left.\begin{aligned}
\cos h \sin A &= \cos \delta \sin t \\
\cos h \sin p &= \cos \varphi \sin t \\
\cos \delta \sin p &= \cos \varphi \sin A;
\end{aligned}\right\} \quad [6]$$

$$\left.\begin{aligned}
-\cos h \cos A &= \sin \delta \cos \varphi - \cos \delta \sin \varphi \cos t \\
\text{oder} \quad \cos h \cos A &= -\sin \delta \cos \varphi + \cos \delta \sin \varphi \cos t \\
\cos \delta \cos t &= \sin h \cos \varphi + \cos h \sin \varphi \cos A \\
\cos \delta \cos p &= \sin \varphi \cos h + \cos \varphi \sin h \cos A \\
\cos \varphi \cos t &= \sin h \cos \delta - \cos h \sin \delta \cos p \\
-\cos \varphi \cos A &= \sin \delta \cos h - \cos \delta \sin h \cos p \\
\text{oder} \quad \cos \varphi \cos A &= -\sin \delta \cos h + \cos \delta \sin h \cos p
\end{aligned}\right\} \quad [7]$$

Ist nun in der ersteren der Formeln [5] $h = 0$, d. h. steht der Stern S im Horizonte, für welchen Fall dann der Stundenwinkel t durch t_0 bezeichnet werden mag, so erhält man

$$\cos t_0 = -\, tg\, \varphi\; tg\, \delta = -\frac{tg\, \delta}{cotg\, \varphi}. \quad [8]$$

Bleibt die Refraction unberücksichtigt, so kann durch diese Formel für einen bestimmten Ort der Erde der Auf- oder Untergang eines Gestirns, dessen Declination bekannt ist, berechnet werden.

Da nach § 121. die Stundenwinkel vom Meridian ab in westlicher Richtung gezählt werden, so bedeutet der negative Werth für t_0 den Durchschnittspunkt des Parallelkreises des Sterns auf der östlichen Seite des Meridians.

Da ferner t_0 durch den Cosinus gefunden wird, so wird seine Bestimmung nur so lange möglich sein, d. h. das Gestirn wird für einen bestimmten Beobachtungsort in einem Parallelkreise liegen, der den Horizont schneidet, oder das Gestirn wird für den Ort noch auf- und untergehen, als

$$\frac{tg\, \delta}{cotg\, \varphi} < 1,$$

oder $$\delta < 90^0 - \varphi \text{ ist.}$$

Ist aber $$\delta > 90^0 - \varphi,$$

oder die Declination des Gestirns gröfser, als die Aequatorhöhe des Orts, so ist

t_0 unmöglich, d. h es giebt für den Werth von δ keinen Parallelkreis, der den Horizont des Orts schneidet. In diesem Falle wird also das Gestirn, vermöge der scheinbaren täglichen Umdrehung der Himmelskugel zwei Mal durch den Meridian gehen, daher man auch eine obere und eine untere Culmination unterscheidet. Man nennt deshalb auch solche Fixsterne, für welche $\delta > 90^0 - \varphi$ ist, Circumpolarsterne. Ist aber $\delta < 90^0 - \varphi$, so wird das Gestirn nur ein Mal durch den sichtbaren Theil des Meridians gehen.

1. Unter dieser Voraussetzung wird daher nach der obigen Formel $\cos t_0 = - tg\, \varphi\, tg\, \delta$ auf der nördlichen Erdhälfte, auf welche in dem Nachfolgenden allein Rücksicht genommen werden soll, für alle Gestirne mit nördlicher Declination $\cos t_0$ negativ, oder $t_0 > 90^0$ sein, d. h. der Stundenkreis von t_0 wird über den ersten Vertical (§. 119. 2.) hinausreichen. Folglich ist das Gestirn über dem Horizonte länger, als unter demselben, oder der Tagbogen ist länger als der Nachtbogen. Das Umgekehrte wird offenbar bei Gestirnen mit südlicher Declination Statt finden, weil dann $\cos t_0$ positiv, oder $t_0 < 90^0$ ist. Ist das Gestirn also die Sonne, so sind zwischen dem 21. März und 23. September, wo sie eine nördliche Declination hat, die Tage länger als die Nächte, während zwischen dem 23. September und 21. März die Tage kürzer, als die Nächte sind.

2. Ist $\varphi = 0$, so wird, da dann $tg\, \varphi = 0$ ist, auch $\cos t_0 = 0$, d. h. für jeden Werth von δ wird $t_0 = 90^0$, oder unter dem Erdäquator ist für alle Gestirne und auch für die Sonne der Tagbogen dem Nachtbogen gleich.

3. Ist $\delta = 0$, so wird aus demselben Grunde $t_0 = 90^0$, d. h. alle Gestirne im Aequator, und die Sonne am 21. März und 23. September, verweilen so lange über dem Horizonte, als unter demselben.

4. Ist $\delta = 90^0 - \varphi$, so wird $\cos t_0 = -1$, also $t_0 = 180^0$, d. h. das Gestirn berührt dann in der unteren Culmination den Horizont.

§. 128.

Bestimmung der Höhe der Gestirne im Meridiane.

Setzt man in die erste der Gleichungen [5]

$$\cos t = 1 - 2 \sin {}^1\!/\!_2\, t^2,$$

so erhält man

$$\sin h = \cos (\varphi - \delta) - 2 \cos \varphi \cos \delta \sin {}^1\!/\!_2\, t^2. \quad [9]$$

Zu gleichen Stundenwinkeln eines Sterns vor und nach der Culmination gehören daher auch gleiche Höhen.

Da ferner das 2te Glied dieser Formel, mag t einem positiven oder negativen Werthe entsprechen, immer negativ ist, so wird für $t = 0$, h ein Maximum werden, oder die Höhe eines Gestirns, dessen Declination sich nicht ändert, ist im Meridian die gröfste.

Bei der oberen Culmination eines Circumpolarsterns wird daher die Höhe aus der Formel

$$\sin h = \cos z = \cos (\varphi - \delta) \qquad [10]$$

gefunden und daher

$$h = \delta + (90^0 - \varphi) \qquad [11]$$

vom Horizontpunkte des Verticalkreises des Höheninstruments, zum Einstellen des Fernrohrs genommen werden müfsen.

Unter derselben Voraussetzung der Unveränderlichkeit der Declination des Gestirns wird h ein Minimum für $t = 180^0$ oder für die untere Culmination desselben. Denn setzt man in die erste Formel der Gleichungen [5] $t = 180^0 + \tau$, rechnet den Stundenwinkel aber vom nördlichen Theile des Meridians ab nach Westen hin, in welchem Falle also τ negativ wird, so ist

$$\sin h = \sin \varphi \sin \delta - \cos \varphi \cos \delta \cos \tau,$$

oder, wenn man wieder

$$\cos \tau = 1 - 2 \sin {}^1\!/_2 \tau^2$$

setzt, $\sin h = \cos [(180^0 - \varphi) - \delta] + 2 \cos \varphi \cos \delta \sin {}^1\!/_2 \tau^2$.

Für $\tau = 0$ wird daher $\sin h$ und daher auch h ein Minimum, nämlich

$$\sin h = \cos z = \cos (180 - \varphi - \delta); \qquad [12]$$

mithin wird

$$h = (180^0 - \delta), + (90 - \varphi) \qquad [13]$$

vom Horizontpunkte aus, zum Einstellen des Fernrohrs des Höheninstrumentes genommen werden müfsen, da die Bezifferung in derselben Richtung wachsend fortgeht.

Für südliche Declinationen der Gestirne wird daher der Ausdruck [11] sich in

$$h = (90^0 - \varphi) - \delta \qquad [14]$$

verwandeln.

Wollte man zur Beobachtung eines Gestirns die Einstellung des Fernrohrs vom Zenithpunkte, Statt vom Horizontpunkte aus vornehmen, so würde in den Formeln [11], [13] und [14] statt h nur $90^0 - h$ zu nehmen, aber ausserdem zu berücksichtigen sein, ob der Stern auf der Süd- oder Nordseite des Zeniths culminiert, was bei der Einstellung nach der Höhe aber nicht erforderlich ist.

Beispiel. Auf den 20. Jan. 1862 soll das Fernrohr eines im Meridiane aufgestellten Durchgangsinstruments auf die untere Culmination von α Ursae minoris und auf die Culmination von β Orionis eingestellt werden. Die Aequatorhöhe des Beobachtungsortes ist nahezu 37° 37′ 28″.

Decl. α urs. min. =	+ 88° 34′ 53″	(Berliner astron. Jahrb. 1862)
also 180° − δ =	+ 91° 25′ 7″	
90° − φ =	37° 37′ 28″	
	129 2′ 35″	
Horizontpunkt	180° 6′	
	309° 8′ 35″	Höhe zum Einstellen.

	$90^0 - \varphi =$	$37^0\ 37'\ 28''$
Decl. β Orionis	$= -$	$8^0\ 21'\ 54''$
		$29^0\ 15'\ 34''$
Horizontpunkt		$180^0\ 6'\ 0''$
		$209^0\ 21'\ 34''$ Höhe zum Einstellen*).

§. 129.

Bestimmung der Höhe der Gestirne im ersten Vertical.

Setzt man in der ersteren der Gleichungen [7]

$$\cos h \cos A = -\cos\varphi \sin\delta + \sin\varphi \cos\delta \cos t$$

$A = 90^0$, so erhält man

$$\cos t = \frac{tg\ \delta}{tg\ \varphi} \qquad [15]$$

und durch Substitution dieses Werthes für cos t in der ersteren der Formeln [5]

$$\sin h = \frac{\sin\ \delta}{\sin\ \varphi}. \qquad [16]$$

Ist der Stundenwinkel t sehr klein, also 0 sehr nahe, so erhält man t und daher auch h ungenau. Man ziehe nun die Gleichung [15] von 1 ab und addiere sie zu 1, so ergiebt sich, wenn man die Differenz durch die Summe dividiert,

$$\frac{1 - \cos t}{1 + \cos t} = \frac{tg\ \varphi - tg\ \delta}{tg\ \varphi + tg\ \delta}$$

oder nach der analytischen Trigonometrie

$$tg\ \frac{1}{2} \cdot t^2 = \frac{\sin(\varphi - \delta)}{\sin(\varphi + \delta)}.$$

Dann erhält man h aus der ersteren der Formeln [6] durch den Ausdruck

$$\cos h = \cos\delta \sin t.$$

Ist $\delta > \varphi$, so wird nach [15] cos t unmöglich, d. h. der Stern culminiert zwischen dem Zenith und dem Pol, kommt also nicht in den ersten Vertical. Ebensowenig werden Sterne mit südlicher Declination in den sichtbaren Theil des ersten Verticals kommen, da dann sowohl cos t, als sin h negativ wird.

§. 130.

Der im §. 128. ausgesprochene Satz, dafs ein Gestirn im Meridian die gröfste Höhe besitzt, hat aber nur dann seine Gültigkeit, wenn die Declination desselben während des Verweilens des Gestirns über dem Horizonte sich nicht ändert, also nur für die Fixsterne.

Sieht man in der ersteren der Formeln [5]

$$\cos z = \sin\varphi \sin\delta + \cos\varphi \cos\delta \cos t$$

z, δ und t als veränderlich an und differenziert dieselbe, so erhält man

*) Ueber die Verbefserung der berechneten Höhen in beiden Beispielen wegen der Refraction vgl. man §. 143.

$$-\sin z\, d z = (\sin\varphi \cos\delta - \cos\varphi \sin\delta \cos t)\, d\delta - \cos\varphi \cos\delta \sin t\, d t.$$

Soll also z ein Maximum, oder $dz = 0$ sein, so ist

$$\sin t = \frac{d\delta}{d t}(tg\,\varphi - tg\,\delta \cos t), \tag{17}$$

worin $\frac{d\delta}{d t}$ das Verhältniss der Aenderung der Declination zur Aenderung des Stundenwinkels bezeichnet, so dafs, wenn $dt = 1$ Bogensekunde ist, $\frac{d\delta}{d t} = {}^1/_{15}$ Zeitsekunde bezeichnet. Da diefs Verhältnifs nun bei allen Gestirnen klein ist, so wird man $\sin t$ mit dem Bogen t vertauschen und $\cos t = 1$ setzen können; dann erhält man für den Stundenwinkel der gröfsten Höhe

$$t = \frac{d\delta}{d t}(tg\,\varphi - tg\,\delta)\frac{206265}{15} \tag{18}$$

worin $\frac{d\delta}{d t}$ die Aenderung der Declination in einer Zeitsekunde bezeichnet und dann t in Zeitsekunden gefunden wird. Dieser Stundenwinkel ist dann immer zur Zeit der Culmination algebraisch zu addieren, um die Zeit der gröfsten Höhe zu erhalten.

Bei der Sonne, die unter mittleren Breitengraden immer südlich vom Zenith culminiert, wird daher die gröfste Höhe zwischen dem Frühlingsäquinoctium und dem Sommersolstitium nach ihrer Culmination Statt finden, weil dann ihre Declination zunimmt, hingegen zwischen dem Sommersolstitium und dem Herbstäquinoctium vor ihrer Culmination.

Anmerkung. Von diesem Satze macht man Gebrauch bei der Bestimmung der Zeit aus correspondirenden Sonnenhöhen. (Vgl. §. 240.)

II. Das Zeitmafs.

§. 131.

Unter Zeit versteht man bekanntlich die reine Anschauung einer Reihe auf einander folgender Ereignisse oder der Aufeinanderfolge des Seins der endlichen Dinge. Jede einzelne Stelle jener Reihe, oder einen Theil jener Aufeinanderfolge nennen wir einen Zeitpunkt, Zeitaugenblick (Moment), den Abstand zweier Zeitpunkte von einander einen Zeitabschnitt oder Zeitraum und den Anfangs- oder Endpunkt eines Zeitabschnitts eine Epoche*).

Das Mefsen der Zeit beruht auf der Voraussetzung einer gleichförmigen Bewegung, mag die Bewegung eine wirkliche oder nur eine scheinbare sein, da wir uns bei derselben die Aufeinanderfolge der Zeitpunkte nur in einem gleichförmigen Fortgange vorstellen können. Da uns nun die Natur in der Umdrehung der Erde, oder der scheinbaren täglichen Rotation der Himmelskugel die gleich-

*) Von ἐπ-έχειν, anhalten. In der Astronomie wird das Wort Epoche auch noch in specieller Bedeutung bei den Planetenbahnen gebraucht.

förmigste Bewegung, die wir kennen, darbietet, so ist der Sterntag (§. 122.) oder ein Tag in Sternzeit, nämlich der Zeitraum zwischen zwei aufeinanderfolgenden Culminationen desselben Fixsterns, auch längst schon in der Astronomie als Zeitmafs angewandt. Um aber eine Vergleichung der Zeit auf verschiedenen Oertern der Erde möglich zu machen, nimmt man an jedem Orte den Anfangspunkt des astronomischen Sterntages, oder 0^h Sternzeit, in dem Augenblicke, wo der Widderpunkt durch seinen Meridian geht und zählt von da bis zur nächsten Culmination desselben Punktes in ununterbrochener Folge 24 Stunden. Es ist demnach an einem Orte 1^h, 2^h, 3^h .... Sternzeit, wenn der Stundenwinkel des Widderpunktes, oder seine Rectascension 1^h, 2^h, 3^h .... beträgt. Obgleich nun streng genommen der Widderpunkt, als Durchschnittspunkt des Aequators mit der Ekliptik, auch kein fester Punkt an der Himmelskugel ist, indem derselbe mit einer fast gleichförmigen Bewegung um 50,239 Sekunden (im Bogen) von Ost nach West fortrückt, so läfst sich diese unbedeutende Veränderung doch in Rechnung bringen. Insofern kann daher der Widderpunkt als ein fester Punkt der Himmelskugel angesehen werden*).

Es folgt auch leicht, dafs die Sternzeit für verschiedene Meridiane um ihren Längenunterschied von einander verschieden ist und dafs ein Ort eine um so gröfsere Sternzeit hat, je weiter er nach Osten liegt.

§. 132.

Für astronomische Beobachtungen ist es ganz besonders bequem, eine nach Sternzeit gehende Uhr zu haben, die also den Zeitraum zwischen zwei auf einander folgenden Culminationen des Widderpunkts genau in 24 Stunden theilt, da man durch sie sogleich die Rectascension der durch den Meridian gehenden Gestirne erfährt. Indessen wird das Datum nicht so gerechnet, als wenn mit 0^h Sternzeit jedesmal ein neuer Tag anfinge, sondern man behält das Datum der Tage der nachher erwähnten mittleren Zeit bei und giebt in den astronomischen Ephemeriden**) für jeden Mittag dieser mittleren Zeit die Sternzeit an, welche diesem Zeitpunkte entspricht und die von da ab dann weiter fortgezählt wird. Eine nach Sternzeit richtig gehende Uhr wird daher nur im Frühlingsanfange mit einer nach der Sonne gehenden Uhr im Mittage übereinstimmen, am längsten Tage aber 6^h Abends, am Herbstäquinoctium 12^h Mitternachts und am

---

*) Man nennt die erwähnte Bewegung die Präcession der Fixsterne (von praecedere, vorangehen, indem durch die Erscheinung die Fixsterne gegen die Aequinoctialpunkte von West nach Ost, also in rechtläufiger Bewegung fortzurücken scheinen und ihre Länge um den erwähnten Bogen jährlich gröfser werden. Auch wird die Erscheinung das Vorrücken der Tag- und Nachtgleichen genannt, da die Sonne, wegen ihrer scheinbaren Bewegung in entgegengesetzter Richtung, wieder früher in den Durchschnittspunkt des Aequators mit der Ekliptik gelangt.

**) Die gebräuchlichsten sind der Nautical Almanac, das Berliner astronomische Jahrbuch und die Connaissance des temps. Das erstere ist in Bezug auf die scheinbaren Orte der Sterne das reichhaltigste.

kürzesten Tage 6^h Morgens des folgenden Datums zeigen. Deshalb ist aber die Sternzeit für das bürgerliche Leben nicht zu gebrauchen, da die gesellige Einrichtung und alle häuslichen und öffentlichen Geschäfte sich nur nach der scheinbaren Bewegung der Sonne richten und nur diese den Wechsel der Tage und Nächte herbeiführt.

Ebenso wenig kann nun aber auch die eigentliche oder wahre Sonne zum Zeitmafs benutzt werden, da nach dem zweiten Keplerschen Gesetze, nach welchem der von der Sonne nach einem Planeten gezogene Radiusvector in gleichen Zeiten gleiche elliptische Sectoren durchläuft, ihre scheinbare Bewegung in der Ekliptik nicht gleichförmig sein kann und um so weniger auf den Aequator bezogen, auf welchen wegen der täglichen Rotation der Erde die gleichförmige Bewegung nur zurückgeführt werden kann, gleichförmig ist. Um aber dennoch die Beziehung auf die scheinbare Sonnenumwälzung nicht aufzugeben, nimmt man neben der die Ekliptik mit ungleichförmiger Bewegung durchlaufenden wahren Sonne eine zweite Sonne an, welche die Ekliptik mit gleichförmiger Geschwindigkeit in der nämlichen Zeit durchläuft, zugleich aber mit der wahren Sonne in den Endpunkten der grofsen Achse (dem Perihel und Aphel)*) zusammentrifft und denkt sich auch noch eine dritte Sonne, die sich mit ebenfalls gleichförmiger Geschwindigkeit so in dem Aequator bewegt, dass ihre Rectascension immer der Länge der zweiten Sonne gleich ist. Diese dritte Sonne wird nun die mittlere Sonne genannt und demnach die Zeit ganz so angeben, als wenn die wahre Sonne mit gleichförmiger Geschwindigkeit im Aequator sich bewegt und mit ihr auch den Widderpunkt gemein hat. Obgleich sie daher nur in der Einbildung existiert, so kann doch ihr Ort am Himmel für jeden beliebigen Zeitpunkt leicht gefunden werden.

Die durch die mittlere Sonne abgemefsene Zeit heifst die mittlere Zeit. Ein mittlerer Sonnentag beginnt mit der Culmination der mittleren Sonne und endigt mit der nächstfolgenden. Er wird zum astronomischen Gebrauche ebenfalls in 24 Stunden, für das bürgerliche Leben aber in zwei Mal 12 Stunden, jede Stunde in 60 Minuten und jede Minute in 60 Sekunden getheilt. Bei dem astronomischen Gebrauche entspricht 0^h immer dem Mittage des Tages, welcher nach der bürgerlichen Rechnung dasselbe Datum hat, 24^h also dem Mittage des folgenden Tages. Nach astronomischer Zeitrechnung fängt demnach der mittlere Tag um 12^h später an, als der bürgerliche, so dafs also Februar 20. 5^h nach astronomischer — zwar ebenfalls Februar 20. 5^h Nachmittags nach bürgerlicher Rechnung bedeutet, dagegen Februar 20. 18^h nach astronomischer — Februar 21. 6^h Vormittags nach bürgerlicher Rechnung entspricht.

*) Von περί, um, herum, ἀπό, ab und ἥλιος, die Sonne, also Sonnennähe und Sonnenferne.

Verhältnifs der Sternzeit zur mittleren Zeit und Verwandlung derselben in einander.

§. 133.

Ist an irgend einem Tage ein Fixstern mit der mittleren Sonne zugleich durch den Meridian eines Orts gegangen, so ist die Erde während ihrer Rotation zugleich in ihrer Bahn, oder scheinbar die Sonne in der Ekliptik, um einen nachher zu bestimmenden Bogen von Westen nach Osten fortgerückt. Wenn also nach vollendeter Rotation der Erde, der Stern wieder culminiert, wird der Durchgang der östlich vom Meridian stehenden mittleren Sonne erst später erfolgen können. Da nun an jedem Tage die Sonne weiter nach Osten fortzurücken scheint, so wird auch an jedem folgenden Tage der Stern immer zeitiger culminieren. Nach einer ganzen Umwälzung der Erde um die mittlere Sonne, wobei diese also den ganzen Umlauf im Aequator vollendet hat, werden beide Himmelskörper wieder gleichzeitig culminieren, dabei also der Stern eine Rotation mehr gemacht haben, als die mittlere Sonne. Zwischen zwei auf einander folgenden Durchgängen der Sonne durch den Widderpunkt, welchen Zeitraum man das tropische Jahr nennt, verfliefsen nun 366,24222 . . . Sterntage, mithin wird die Sonne in derselben Zeit 365,24222 Mal durch den Meridian gegangen sein, und da man das tropische Jahr in eben so viele gleiche Tage getheilt hat, die man mittlere Tage nennt, so ist das tropische Jahr gleich 365 Tagen (t) 5 Stunden 48 Minuten 47,8091 Sekunden in mittlerer Zeit.

Da nun ferner

$$365,^t24222 : 1^t = 360^0 : x^0,$$

so erhält man für

$$x = 0^0,985647 \ldots \text{ oder } 0^0 59' 8'',33,$$

gleich dem Stundenwinkel der mittleren Sonne oder der mittleren täglichen Bewegung der wahren Sonne, während dieselbe im Perihel 61′ 10″,1 und im Aphel 57′ 11″,7 beträgt.

§. 134.

Da bei einer im Kreise Statt findenden gleichförmigen Bewegung die in gleichen Zeiten durchlaufenden Bogen sich umgekehrt verhalten, wie die Umlaufszeiten, so ist:

$$\text{mittlerer Tag} : \text{Sterntag} = 366,24222 : 365,24222.$$

Folglich ist

$$\text{ein mittlerer Tag} = \frac{366,24222}{365,24222} = 1,0027379 \text{ Sterntagen}$$

oder, in Sekunden ausgedrückt, also mit 24 . 60 . 60 = 86400 multipliciert,

$$\text{ein mittlerer Tag} = 86636,55456 \text{ Sekunden}$$
$$= 24^h + (3^m\, 56^s,555) \text{ Sternzeit.}$$

Ebenso ist

$$\text{ein Sterntag} = \frac{365,24222}{366,24222} = \frac{1}{1,002739} \text{ eines mittlern Tages,}$$
$$= 86164,091 \text{ Sekunden,}$$
$$= 23^h\, 56^m\, 4^s,091,$$
$$= 24^h - (3^m\, 55^s,909) \text{ mittler Zeit.}$$

Zur Erleichterung der Rechnung bei der häufig vorkommenden Verwandlung der einen Zeit in die andere hat man für die Quotienten

$$\frac{24^h + 3^m\, 56^s,555}{24^h}$$

und

$$\frac{24^h - 3^m\, 55^s,909}{24^h}$$

für jede Stunde, Minute und Sekunde und Bruchtheile derselben Tafeln berechnet, welche man in den astronomischen Ephemeriden findet und deren Gebrauch sich ohne Weiteres ergiebt. In dem Nautical Almanac ist die Rechnung für die Stunden, Minuten und Sekunden bis auf 4 Decimalstellen der Sekunde, für die Hundertstel Sekunden aber bis auf 6 Decimalstellen ausgeführt.

§. 135.

Um aber die Sternzeit in mittlere Zeit und umgekehrt für eine bestimmte Zeit eines gegebenen Tages zu verwandeln, mufs man, wie schon im §. 132. erwähnt ist, berücksichtigen, dafs man an einem bestimmten Orte 0^h Sternzeit hat, wenn daselbst am Frühlingsäquinoctium der Widderpunkt culminiert und dass für die folgenden Tage des Jahres, die Sternzeit für jeden Mittag des mittleren Tages in den Ephemeriden angegeben ist. Deshalb mufs bei der Verwandlung der Sternzeit in mittlere Zeit für einen gegebenen Tag, die Sternzeit des mittleren Mittags von der gegebenen abgezogen und für den Rest dann nach den erwähnten Hülfstafeln die Reduction ausgeführt werden. Bei der Verwandlung der mittleren Zeit in Sternzeit ist aus demselben Grunde dieselbe nach den Hülfstafeln zunächst in Sternzeit zu verwandeln und diese dann zu der Sternzeit im mittleren Mittage zu addieren.

Bezeichnet man daher die mittlere Zeit durch M, die Sternzeit wieder durch Σ und die Sternzeit für den mittleren Mittag durch Σ_0, so ist

$$M = (\Sigma - \Sigma_0)\,\frac{24^h - 3^m\, 55^s.909}{24^h}$$

$$\text{und } \Sigma = \Sigma_0 + M + \frac{24^h + 3^m\, 56^s,555}{24^h}.$$

Indessen bedarf die aus den Ephemeriden genommene Sternzeit Σ_0 dann noch einer Verbefserung, wenn der Meridian, für welchen die Ephemeriden berechnet sind, verschieden von dem ist, für welchen die Sternzeit benutzt werden soll und die offenbar dem Längenunterschiede der beiden Oerter proportional sein mufs.

Beispiel. Es soll für Januar 28. 1862 die Sternzeit $22^h\ 50^m\ 45^s,8$ für einen Ort O, dessen Länge $27^0\ 24'\ 12''$ östlich von Ferro ist, nach dem Nautical Almanac und dem Berliner astronomischen Jahrbuch in mittlere Zeit verwandelt werden.

Es ist die Länge von Greenwich östlich von Ferro $17^0\ 39'\ 46''$*),
ferner „ „ des Beobachtungsorts O . . . . . . $27^0\ 24'\ 12''$,
und „ „ von Berlin . . . . $31^0\ 3'\ 30''$,

folglich der Längenunterschied:

1) zwischen Greenwich und O. . . . . $9^0\ 44'\ 26''$ im Bogen
oder $38^m\ 57^s,44 = 38^m,9573$ in Zeit,

2) zwischen O und Berlin . . . . $3^0\ 39'\ 18''$ im Bogen
oder $14^m\ 37^s,12 = 14^m,6186$ in Zeit.

Da nun $9^s,8565$ den Unterschied zwischen $1^h = 60^m$ Sternzeit gegen mittlere Zeit darstellt**) und

$$60^m : 9^s,8565 = 38^m,9573 : 6^s,40$$

und

$$60^m : 9^s,8565 = 14^m,6186 : 2^s,40,$$

so ist Σ_0 aus dem Nautical Almanac immer um $6^s,40$ zu vermindern, aus dem Berliner astronomischen Jahrbuche aber um $2^s,40$ zu vermehren.

$$\begin{aligned} \text{Gegebene Sternzeit } \Sigma \text{ für } O &= 22^h\ 50^m\ 45^s,8. \\ \Sigma_0 \text{ für Jan. 28. 1862 Greenwich} &= 20^h\ 29^m\ 58^s,16. \\ \text{davon} &\qquad\quad 6^s,40 \text{ subtrahiert,} \\ \hline \text{giebt } \Sigma_0 \text{ in } O &= 20^h\ 29^m\ 51^s,76, \\ \text{also } \Sigma - \Sigma_0 &= \ \ 2^h\ 20^m\ 54^s,04, \\ \text{folglich } M &= \ \ 2^h\ 20^m\ 30^s,9569 \text{***)}. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Gegebene Sternzeit } \Sigma \text{ für } O &= 22^h\ 50^m\ 45^s,8, \\ \Sigma_0 \text{ für Januar 28. 1852 Berlin} &= 20^h\ 29^m\ 49^s,37, \\ \text{dazu} &\qquad\quad 2,\ 40 \text{ addiert,} \\ \hline \text{giebt } \Sigma_0 \text{ in } O &= 20^h\ 29^m\ 51^s,77 \end{aligned}$$

wie vorhin.

Die Verwandlung der mittleren Zeit in Sternzeit kann nunmehr keine Schwierigkeiten machen.

---

*) Berliner astronomisches Jahrbuch, 1862. S. 287.

**) Nautical Almanac für 1862. S. 502.

***) Nach dem Nautical Almanac ist

$$\begin{aligned} 2^h \quad \text{Sternzeit} &= 1^h\ 59^m\ 40^s,3409 \\ 20^m \quad „ \quad &= \quad\ 19\ \ 56,7235 \\ 54^s \quad „ \quad &= \qquad\quad 53,8526 \\ 0^s,04 \quad „ \quad &= \qquad\quad\ 0,0399 \\ \hline \text{also } 2^h\ 20^m\ 54^s,04 \text{ Sternzeit} &= 2^h\ 20^m\ 30^s,9569. \end{aligned}$$

Verhältnifs der wahren Zeit zur mittleren Zeit und Sternzeit und Verwandlung derselben in einander.

§. 136.

Es ergiebt sich schon aus §. 132., dafs die wahre Sonnenzeit veränderlich ist; daher wird auch die im Aequator mit gleichförmiger Bewegung gedachte mittlere Sonne bald voraus, bald hinter derselben zurück sein, also beziehungsweise früher oder später culminieren. Es läfst sich daher auch der Werth der wahren Sonnenzeit weder in mittlerer Zeit noch in Sternzeit ausdrücken, sondern man kann für einen gegebenen Zeitpunkt nur den Statt findenden Unterschied derselben angeben. Diesen Unterschied zwischen der mittleren und wahren Sonnenzeit, oder den Stundenwinkel der mittleren Sonne im wahren Mittage, nennt man die Zeitgleichung. Abgesehen von fast unmerklichen Verschiedenheiten darf angenommen werden, dafs die Zeitgleichung an dem nämlichen Tage für alle Meridiane sich gleich bleibt. Bezeichnet man sie durch Z, die wahre Zeit durch W, so ist

$$Z = M - W,$$

worin Z für vier Zeitpunkte im Jahre $= 0$, sonst aber additiv oder subtractiv ist, also ihr Zahlenwerth beziehungsweise zur wahren Zeit zugesetzt oder davon abgezogen oder zur wahren Zeit immer algebraisch addiert werden mufs, um die mittlere Zeit zu erhalten. So ist z. B. die Zeitgleichung am 11. Febr. 1862 $= + 14^m\ 31^s,22$*); es mufs daher zur Zeit des wahren Mittags eine richtig gehende Uhr $12^h\ 14^m\ 31^s,2$ zeigen. Am 3. Nov. 1862 ist dieselbe $= - 16^m\ 16^s,95$, also mufs bei der Culmination der Sonne die richtig gehende Uhr $11^h\ 43^m\ 43^s$ angeben. Gegen Mitte des April und Juni, so wie fast am Ende des August und gegen Ende des December ist die Zeitgleichung $= 0$, also die mittlere der wahren Sonnenzeit gleich. Auch die Zeitgleichung ist in den Ephemeriden für jeden wahren Mittag des zugehörigen Meridians angegeben. Ihr Werth wird aus der mittleren und wahren Länge und Rectascension der Sonne, welche aus den s. g. Sonnentafeln bestimmt werden können, berechnet.

§. 137.

1. Verwandlung der wahren Zeit in mittlere. Soll für 0^h die Verwandlung geschehen, so ergiebt sich für jeden Meridian, M sogleich aus W und Z, indem man letztere beide algebraisch addiert. Dieser Fall kommt bei der Bestimmung der Zeit an einem im Meridiane aufgestellten Höheninstrumente durch die Beobachtung der Culmination der Sonne vor.

Für eine andere Tageszeit mufs aber die stündliche Veränderung der Zeit-

*) Berliner astronomisches Jahrbuch 1862.

gleichung, wenn sie in den Ephemeriden nicht angegeben ist, berechnet werden, um dann Z für die gegebene Zeit bestimmen zu können.

Es sei z. B. im Meridian der Ephemeriden, für welche hier das Berliner astronomische Jahrbuch zum Grunde gelegt werden soll, für 20. März 1862 $W = 3^h\ 50^m\ 40^s$ gegeben.

Für 0^h des 20. März ist $Z = +\ 7^m\ 38^s,69$,

„ 21. „ „ $Z = +\ 7^m\ 20^s,52$,

also die Veränderung in $24^h = 18^s,17$ und die stündliche $= 0^s,757$. Da nun $3^h\ 50^m\ 40^s = 3^h,844\ldots$, so ist die Aenderung der Zeitgleichung für diese Zeit $= 3{,}844\ .\ 0^s,757 = 2^s,91$, welcher Werth daher von Z für 20. März abzuziehen ist, da Z abnimmt, dagegen zuzusetzen sein würde, wenn Z wächst; es ist also für die gegebene Zeit $Z = 7^m\ 35^s,78$, folglich

$$M = 3^h\ 50^m\ 40^s + 7^m\ 35^s,78 = 3^h\ 58^m\ 15^s,78.$$

Ist endlich ausserdem der Meridian, für welchen die Ephemeriden berechnet sind, verschieden von dem, für welchen W gegeben ist, so mufs Z auf den letzteren Meridian reduciert werden. Diese Verbefserung wird offenbar ein eben so grofser Theil der täglichen Aenderung der Zeitgleichung sein müfsen, als der in Zeit ausgedrückte Längenunterschied beider Meridiane 24^h ist.

Es sei z. B. für einen Ort O, dessen östliche Länge von Ferro $= 27^0\ 24'\ 12''$ ist, für März 20. 1862 $W = 3^h\ 50^m\ 40^s$ gegeben. Man bestimme zunächst W für Berlin, dessen Länge $= 31^0\ 3'\ 30''$ ist. Nach §. 135. ist der Längenunterschied für O gegen Berlin $= 14^m\ 37^s,12$, welcher Werth daher, da O westlich von Berlin liegt, zu dem Werth von W zu addieren ist, dagegen bei östlicher Lage abzuziehen wäre. Man erhält demnach

wahre Zeit in Berlin $4^h\ 5^m\ 17^s,12 = 4^h,088$.

Da nun nach dem Vorhergehenden die ständliche Veränderung der Zeitgleichung $= 0^s,757$ ist, so ist die Aenderung derselben in $4^h,088 = 3^s,095$,

folglich Z für $4^h,088 = 7^m\ 35^s,60$,

dazu W in Berlin $= 4^h\ 5^m\ 17^s,12$

giebt M in Berlin $4^h\ 12^m\ 52^s,72$,

davon der Längenunterschied $14^m\ 37^s,12$ subtrahiert,

erhält man für den Ort O, $M = 3^h\ 58^m\ 15^s,60$.

§. 138.

2. Bei der **Verwandlung der mittleren Zeit in wahre Zeit** müfste man eigentlich schon die wahre Zeit kennen, um die für sie berechnete Zeitgleichung anwenden zu können. In **Bremikers Nautischem Jahrbuche** ist die Zeitgleichung übrigens für mittlere Zeit angegeben, daher diese Ephemeride bei der vorliegenden Verwandlung vor den übrigen den Vorzug verdient. Bei der geringen täglichen Aenderung der Zeitgleichung wird es in vielen Fällen schon

ausreichen, wenn man die Zeitgleichung an die gegebene mittlere Zeit anbringt und dann nach dem vorigen Paragraphen verfährt. Bei genaueren Berechnungen nimmt man die Zeitgleichung ungefähr an und berechnet dann aus der dadurch erhaltenen genäherten wahren Zeit die Zeitgleichung, woraus dann die gesuchte wahre Zeit sich ergiebt.

Beispiel. Für den Ort O, dessen Längenunterschied in westlicher Richtung gegen Berlin $14^m\ 37^s,12$ beträgt, ist für Mai 22. 1859 $M = 3^h\ 51^m\ 7^s,75$ gegeben.

Nach dem vorigen Paragraphen ist M in Berlin $4^h\ 5^m\ 44^s,87 = 4^h,0958$,

Zeitgleichung 0^h 22. Mai $= -\ 3^m\ 39^s,12$,

23. „ $= -\ 3^m\ 34^s,85$,

daher die stündliche Aenderung $= 0^s,178$,

folglich die Aenderung in $4^h,0958 = 0^s,73$.

Es ist daher für die gegebene Zeit $Z = -\ 3^m\ 38^s,39$;

da nun M in Berlin $= 4^h\ 5^m\ 44^s,87$ war,

so ist W in Berlin $= 4^h\ 9^m\ 23^s,26$*)

davon der Längeunterschied $14^m\ 37^s,12$ subtrahiert,

giebt für den Ort O, $W = 3^h\ 54^m\ 46^s,14$.

§. 139.

3. Um wahre Zeit in Sternzeit zu verwandeln, wird man aus den Ephemeriden die für den wahren Mittag bekannte Rectascension der Sonne zu nehmen und für die gegebene wahre Zeit zu interpolieren haben; dann erhält man, wenn $AR\odot$ die für diesen Zeitpunkt bestimmte Rectascension bezeichnet,

$$\Sigma = W + AR\odot$$

für den Meridian der Ephemeriden. Für jeden anderen Meridian, dessen Längenunterschied gegen den vorigen bekannt ist, wird dann die Rechnung auf ähnliche Weise geführt, wie in den §§. 137. und 138. gezeigt ist.

Beispiel. Es soll für Oct. 20. 1862 die gegebene wahre Zeit $W = 3^h\ 40^m\ 25^s$ in Sternzeit verwandelt werden.

Nach den Berliner Ephemeriden ist

Oct. 20. 1862. 0^h, $AR\odot = 13^h\ 39^m\ 28^s,46$,

21. „ „ „ $= 13^h\ 43^m\ 15^s,26$,

folglich die tägliche Aenderung $3^m\ 46^s,80$,

und die stündliche „ $9^s,45$.

Da nun $3^h\ 40^m\ 25^s = 3^h,1484$ ist, so ist für die gegebene wahre Zeit $AR\odot = 13^h\ 39^m\ 28^s,46 + 29^s,75 = 13^h\ 39^m\ 58^s,21$.

Da nun $W = \ \ 3^h\ 40^m\ 25^s$,

so ist $\Sigma = 17^h\ 20^m\ 23^s,21$.

*) Hier ist, da die Zeitgleichung negativ ist, Z von M algebraisch zu subtrahieren.

§. 140.

4. Bei der Verwandlung der Sternzeit in wahre Zeit kann man zuerst aus der gegebenen Sternzeit nach §. 135. die mittlere Zeit bestimmen und diese dann nach §. 138. in wahre Zeit verwandeln. Ist dabei wieder der Meridian, für welchen die Sternzeit gegeben ist, verschieden von dem Meridian für die Ephemeriden, so gelten dann die im Vorhergehenden gegebenen Vorschriften.

III. Die Verbefserungen, welcher die Beobachtungen der Gestirne bedürfen.

A. Die Refraction.

§. 141.

Das von den Gestirnen ausgehende Licht würde seiner Natur nach bis zum Auge des Beobachters in gerader Linie fortgehen, wenn es seinen Weg nicht durch die Atmosphäre der Erde nehmen müfste. Diese ist aber aus unendlich vielen Schichten zusammengesetzt, deren Brechungskraft wegen der stetigen Veränderung der Dichtigkeit derselben, sich stetig verändert. Der Weg des Lichts durch die Atmosphäre wird daher eine Curve bilden.

Nach den Gesetzen der Aërostatik wächst aber in den gewöhnlichen Zuständen der Atmosphäre die Dichtigkeit der Schichten derselben stetig von Oben nach Unten. Die in den Einfallspunkten gedachten Einfallslothe werden daher mit dem zugehörigen Einfallsstrahle einen immer kleineren Winkel bilden, je mehr sich der Strahl der Erdoberfläche nähert, weshalb die concave Seite der Lichtcurve der Erde zugewendet sein mufs. Deshalb wird das Auge des Beobachters, welches das Gestirn in die Richtung der Berührungslinie des letzten Bogenstücks der Lichtcurve versetzt, alle Gestirne, die nicht in seinem Zenith stehen, in einer gröfseren Höhe zu sehen glauben, als in der sie wirklich stehen. Der Winkel, welchen die erwähnte Berührungslinie mit der vom Auge nach dem Gestirne gedachten Geraden bildet, und welcher demnach als die Summe aller Brechungen des Lichtstrahls von seinem Eintritte in die Atmosphäre bis zum Auge angesehen werden kann, heifst die Refraction oder astronomische Strahlenbrechung.

Weil nach den Gesetzen der Brechung des Lichts der gebrochene Strahl mit dem Einfallsstrahle und dem Einfallslothe immer in einer Ebene liegt, so folgt, dafs durch die Refraction die in dem Horizont abgelesenen Azimuthe der Gestirne nicht geändert werden, dafs diefs aber bei den auf dem Aequator abgelesenen Stundenwinkeln der Fall sein mufs.

Wegen der gröfseren Dichtigkeit der Atmosphäre in der Nähe der Erdoberfläche wird die Refraction auch um so gröfser sein, je näher das Gestirn dem Horizonte steht.

§. 142.

Sowohl durch theoretische Untersuchungen, als durch wirkliche Beobachtungen der gröfsten Astronomen ist man jetzt dahin gelangt, die Verbefserung zu kennen, welche man an jede einzelne Beobachtung anbringen mufs.

Man hat diese Verbefserungen in Refractions-Tafeln zusammengestellt, von denen die von Bessel in den Tabulis Regiomontanis angegebenen, die wegen ihrer genauen Herleitung aus den besten Beobachtungen, und ihrer fortwährenden sorgfältigen Prüfung und Vergleichung mit der Erfahrung, jetzt die am weitesten verbreiteten sind. Da man ihrer u. a. bei der Bestimmung der Zeit aus der gemefsenen Höhe der Sonne oder eines Sterns nothwendig bedarf, dieselben aber leider in den neueren Jahrgängen des Berliner astronomischen Jahrbuches weggelafsen sind, auch in dem Nautical Almanac sich nicht finden, so glaube ich im Interesse mancher praktischer Geometer, die nicht im Besitz der vielfach angewandten Hülfstafeln von Schumacher und Warnstorff*) u. a. sich befinden, zu handeln, wenn ich die Bessel'schen Refractionstafeln hier folgen lafse.

Eine vollständige Entwickelung des Wesens der astronomischen Strahlenbrechung findet man u. a. in Brünnow's Lehrbuch der sphärischen Astronomie, Berlin, Dümmler, 1851 und in der gekrönten Preisschrift von Bruhns, die astronomische Strahlenbrechung in ihrer historischen Entwickelung dargestellt. Leipzig, Voigt und Günther, 1861.

Um die Refraction anwenden zu können, wird aufser der Mefsung der scheinbaren Höhe oder Zenithdistanz des Gestirns noch die Beobachtung des Barometers, so wie des Thermometers am Barometer (des s. g. innern Thermometer) und der Temperatur der Luft (des äufseren Thermometers) gefordert, von welchen Beobachtungen die Tafeln die Correctionsfactoren enthalten. Bei Beobachtungen im Freien dürfen diese Apparate nicht dem directen Einflufs der Sonnenstrahlen ausgesetzt, sondern müfsen im Schatten aufgehängt sein. Da für geringe Höhen die logarithmische Berechnung eine gröfsere Genauigkeit giebt, so finden sich neben den Correctionsfactoren auch noch logarithmische Angaben.

---

*) Schumacher's Sammlung von Hülfstafeln. Neu herausgegeben und vermehrt von Warnstorff. Altona 1845.

Refractions-Tafeln.

Tafel I. Mittlere Refraction.

Beobacht.-Höhe	Refraction	log α	Beobacht.-Höhe	Refraction	log α
0° 0′	34′54,″1	—	6° 0′	8′23,″3	1,72346
10	32 49, 2	0,75803	10	8 11, 6	1,72519
20	30 52, 3	1,03248	20	8 0, 3	1,72681
30	29 3, 5	1,18228	30	7 49, 5	1,72832
40	27 22, 7	1,28137	40	7 39, 2	1,72974
50	25 49, 8	1,35300	50	7 29, 2	1,73105
1° 0	24 24, 6	1,40764	7° 0	7,19, 7	1,73229
10	23 6, 7	1,45086	10	7 10, 5	1,73347
20	21 55, 6	1,48602	20	7 1, 7	1,73459
30	20 50, 9	1,51530	30	6 53, 3	1,73564
40	19 51, 9	1,54010	40	6 45, 1	1,73663
50	18 58, 0	1,56142	50	6 37, 2	1,73757
2° 0	18 8, 6	1,57995	8° 0	6 29, 6	1,73845
10	17 23, 0	1,59618	10	6 22, 3	1,73928
20	16 40, 7	1,61041	20	6 15, 2	1,74007
30	16 0, 9	1,62278	30	6 8, 4	1,74083
40	15 23, 4	1,63353	40	6 1, 8	1,74155
50	14 47, 8	1,64286	50	5 55, 4	1,74223
3° 0	14 14, 6	1,65114	9° 0	5 49, 3	1,74288
10	13 43, 7	1,64869	10	5 43, 3	1,74352
20	13 15, 0	1,66560	20	5 37, 6	1,74412
30	12 48, 3	1,67204	30	5 32, 0	1,74468
40	12 23, 7	1,67813	40	5 26, 5	1,74521
50	12 0, 7	1,68383	50	5 21, 3	1,74573
4° 0	11 38, 9	1,68908	10° 0	5 16, 2	1,74623
10	11 18, 3	1,69384	10	5 11, 2	1,74670
20	10 58, 6	1,69816	20	5 6, 4	1,74714
30	10 39, 6	1,70188	30	5 1, 7	1,74757
40	10 21, 2	1,70505	40	4 57, 2	1,74799
50	10 3, 3	1,70772	50	4 52, 8	1,74839
5° 0	9 46, 5	1,71020	11° 0	4 48, 5	1,74876
10	9 30, 9	1,71279	10	4 44, 3	1,74912
20	9 16, 0	1,71522	20	4 40, 2	1,74947
30	9 1, 9	1,71749	30	4 36, 3	1,74981
40	8 48, 4	1,71961	40	4 32, 4	1,75013
50	8 35, 6	1,72160	50	4 28, 7	1,75043
6°	8 23, 3	1,72346	12° 0	4 25, 0	1,75072

Tafel I. Mittlere Refraction.					
Beobacht.-Höhe	Refraction.	log α	Beobacht.-Höhe	Refraction	log α
12°	4′25,″0	1,75072	45°	57,″7	1,76104
13	4 4, 9	1,75229	46	55, 7	1,76107
14	3 47, 4	1,75355	47	53, 8	1,76111
15	3 32, 1	1,75457	48	51, 9	1,76114
16	3 18, 6	1,75543	49	50, 2	1,76117
17	3 6, 6	1,75615	50	48, 4	1,76119
18	2 55, 8	1,75675	51	46, 7	1,76122
19	2 46, 1	1,75726	52	45, 1	1,76124
20	2 37, 3	1,75771	53	43, 5	1,76126
21	2 29, 3	1,76809	54	41, 9	1,76128
22	2 21, 9	1,75842	55	40, 4	1,76130
23	2 15, 2	1,75871	56	38, 9	1,76132
24	2 8, 9	1,75897	57	37, 5	1,76134
25	2 3, 2	1,75919	58	36, 1	1,76136
26	1 57, 8	1,75939	59	34, 7	1,76138
27	1 52, 8	1,75957	60	33, 3	1,76139
28	1 48, 2	1,75973	61	32, 0	1,76140
29	1 43, 8	1,75988	62	30, 7	1,76142
30	1 39, 7	1,76001	63	29, 4	1,76143
31	1 35, 8	1,76012	64	28, 2	1,76144
32	1 32, 1	1,76023	65	26, 9	1,76145
33	1 28, 7	1,76033	66	25, 7	1,76146
34	1 25, 4	1,76042	67	24, 5	1,76147
35	1 22, 3	1,76050	68	23, 3	1,76148
36	1 19, 3	1,76058	69	22, 2	1,76148
37	1 16, 5	1,76065	70	21, 0	1,76149
38	1 13, 8	1,76071	71	18, 9	1,76150
39	1 11, 2	1,76077	72	18, 8	1,76150
40	1 8, 7	1,76082	73	17, 7	1,76151
41	1 6, 3	1,76087	74	16, 6	1,76151
42	1 4, 0	1,76092	75	15, 5	1,76152
43	1 1, 8	1,76096	80	10, 2	1,76154
44	0 59, 7	1,76100	85	5, 1	1,76156
45	0 57, 7	1,76104	90	0, 0	1,76156

Tafel 2. Factor B,

Pariser Zoll und Linien	Pariser Linien	Factor *B*	log *B*	Engl. Zoll	Factor *B*	log *B*
26″3‴	315	0,945	— 0,02445	27,5	0,929	— 0,03191
4	316	0,948	— 0,02307	27,6	0,933	— 0,03033
5	317	0,951	— 0,02170	27,7	0,936	— 0,02876
6	318	0,954	— 0,02033	27,8	0,939	— 0,02720
7	319	0,957	— 0,01897	27,9	0,943	— 0,02564
8	320	0,960	— 0,01761	28,0	0,946	— 0,02409
9	321	0,963	— 0,01625	28,1	0,949	— 0,02254
10	322	0,966	— 0,01490	28,2	0,953	— 0,02099
11	323	0,969	— 0,01356	28,3	0,956	— 0,01946
27″0	324	0,972	— 0,01221	28,4	0,960	— 0,01793
1	325	0,975	— 0,01088	28,5	0,963	— 0,01640
2	326	0,978	— 0,00954	28,6	0,966	— 0,01488
3	327	0,981	— 0,00821	28,7	0,970	— 0,01336
4	328	0,984	— 0,00689	28,8	0,973	— 0,01185
5	329	0,987	— 0,00556	28,9	0,976	— 0,01035
6	330	0,990	— 0,00425	29,0	0,980	— 0,00885
7	331	0,993	— 0,00293	29,1	0,983	— 0,00735
8	332	0,996	— 0,00162	29,2	0,987	— 0,00586
9	333	0,999	— 0,00032	29,3	0,990	— 0,00438
10	334	1,002	+ 0,00099	29,4	0,993	— 0,00290
11	335	1,005	+ 0,00228	29,5	0,997	— 0,00142
28″0	336	1,008	+ 0,00358	29,6	1,000	+ 0,00005
1	337	1,011	+ 0,00487	29,7	1,003	+ 0,00151
2	338	1,014	+ 0,00616	29,8	1,007	+ 0,00297
3	339	1,017	+ 0,00744	29,9	1,010	+ 0,00443
4	340	1,020	+ 0,00872	30,0	1,014	+ 0,00588
5	341	1,023	+ 0,00999	30,1	1,017	+ 0,00732
6	342	1,026	+ 0,01127	30,2	1,020	+ 0,00876
7	343	1,029	+ 0,01253	30.3	1,024	+ 0,01020
8	344	1,032	+ 0,01380	30,4	1,027	+ 0.01163
9	345	1,035	+ 0,01506	30,5	1,031	+ 0,01306
10	346	1,038	+ 0,01632	30,6	1,034	+ 0,01448
11	347	1,041	+ 0,01757	30,7	1,037	+ 0,01589
29″0	348	1,044	+ 0,01882	30,8	1,041	+ 0,01731
1	349	1,047	+ 0,02007	30,9	1,044	+ 0,01871
2	350	1,050	+ 0,02131	31,1	1,047	+ 0,02012

abhängig vom Barometer.

Millimeter	log *B*	Millimeter	log *B*
725	— 0,01560	760	+ 0,00488
726	— 0,01500	761	+ 0,00545
727	— 0,01440	762	+ 9,00602
728	— 0,01380	763	+ 0,00659
729	— 0,01321	764	+ 0,00716
730	— 0,01261	765	+ 0,00773
731	— 0,01202	766	+ 0,00830
732	— 0,01142	767	+ 0,00886
733	— 0,01083	768	+ 0,00943
734	— 0,01024	769	+ 0,00999
735	— 0,00965	770	+ 0,01056
736	— 0,00906	771	+ 0,01112
737	— 0,00847	772	+ 0,01168
738	— 0,00788	773	+ 0,01225
739	— 0,00729	774	+ 0,01281
740	— 0,00670	775	+ 0,01337
741	— 0,00612	776	+ 0,01393
742	— 0,00553	777	+ 0,01449
743	— 0,00494	778	+ 0,01505
744	— 0,00436	779	+ 0,01560
745	— 0,00378	780	+ 0,01616
746	— 0,00319	781	+ 0,01672
747	— 0,00261	782	+ 0,01727
748	— 0,00203	783	+ 0,01783
749	— 0,00145	784	+ 0,01838
750	— 0,00087	785	+ 0,01894
751	— 0,00029	786	+ 0,01949
752	+ 0,00028	787	+ 0,02004
753	+ 0,00086	788	+ 0,02059
754	+ 0,00144	789	+ 0,02114
755	+ 0,00201	790	+ 0,02169
756	+ 0,00259	791	+ 0,02224
757	+ 0,00316	792	+ 0,02279
758	+ 0,00374	793	+ 0,02334
759	+ 0,00431	794	+ 0,02389
760	+ 0,00488	795	+ 0,02443

Tafel 3. Factor T, abhängig vom inneren Thermometer.

Cent. Gr.	Reaum. Gr.	Factor T	log T	Fahrenh.-Gr.	Factor T	log T
— 20	— 16	1,003	+ 0,00140	— 10	1,004	+ 0,00164
— 15	— 12	1,002	+ 0,00105	0	1,003	+ 0,00125
— 10	— 8	1,002	+ 0,00070	+ 10	1,002	+ 0,00086
— 5	— 4	1,001	+ 0,00035	+ 20	1,001	+ 0,00047
0	0	1,000	0,00000	+ 30	1,000	+ 0,00008
+ 5	+ 4	0,999	— 0,00035	+ 40	0,999	— 0,00031
+ 10	+ 8	0,998	— 0,00070	+ 50	0,998	— 0,00070
+ 15	+ 12	0,998	— 0,00105	+ 60	0,997	— 0,00109
+ 20	+ 16	0,997	— 0,00140	+ 70	0,997	— 0,00148
+ 25	+ 20	0,996	— 0,00175	+ 80	0,996	— 0,00186
+ 30	+ 24	0,995	— 0,00210	+ 90	0,995	— 0,00225
+ 35	+ 28	0,994	— 0,00244	+ 100	0,994	— 0,00264

Tafel 4. Factor γ, abhängig vom äufseren Thermometer.

Cent. Gr.	Reaum.-Gr.	Factor γ	log γ	Fahrenh.-Gr.	Factor γ	log γ
— 20	— 16,0	1,115	+ 0,04734	— 8	1,125	+ 0,05115
— 19	— 15,2	1,111	+ 0,04564	— 6	1,120	+ 0,04924
— 18	— 14,4	1,106	+ 0,04394	— 4	1,115	+ 0,04734
— 17	— 13,6	1,102	+ 0,04225	— 2	1,110	+ 0,04545
— 16	— 12,8	1,098	+ 0,04057	0	1,106	+ 0,04357
— 15	— 12,0	1,094	+ 0,03889	+ 2	1,101	+ 0,04169
— 14	— 11,2	1,089	+ 0,03722	+ 4	1,096	+ 0,03982
— 13	— 10,4	1,085	+ 0,03556	+ 6	1,091	+ 0,03796
— 12	— 9,6	1,081	+ 0,03390	+ 8	1,087	+ 0,03611
— 11	— 8,8	1,077	+ 0,03225	+ 10	1,082	+ 0,03427
— 10	— 8,0	1,073	+ 0,03060	+ 12	1,078	+ 0,03243
— 9	— 7,2	1,069	+ 0,02896	+ 14	1,073	+ 0,03060
— 8	— 6,4	1,065	+ 0,02733	+ 16	1,069	+ 0,02878
— 7	— 5,6	1,061	+ 0,02570	+ 18	1,064	+ 0,02697
— 6	— 4,8	1,057	+ 0,02408	+ 20	1,060	+ 0,02514
— 5	— 4,0	1,053	+ 0,02247	+ 22	1,055	+ 0,02336
— 4	— 3,2	1,049	+ 0,02086	+ 24	1,051	+ 0,02157
— 3	— 2,4	1,045	+ 0,01926	+ 26	1,047	+ 0,01979
— 2	— 1,6	1,041	+ 0,01766	+ 28	1,042	+ 0,01801
— 1	— 0,8	1,038	+ 0,01607	+ 30	1,038	+ 0,01624
— 0	— 0,0	1,034	+ 0,01448	+ 32	1,034	+ 0,01448

Tafel 4. Factor γ, abhängig vom äufseren Thermometer.

Cent.-Gr.	Reaum.-Gr.	Factor γ	log γ
0	0	1,034	+ 0,01448
1	+ 0,8	1,030	+ 0,01290
2	1,6	1,026	+ 0,01133
3	2,4	1,023	+ 0,00976
4	3,2	1,019	+ 0,00820
5	4,0	1,015	+ 0,00664
6	4,8	1,012	+ 0,00509
7	5,6	1,008	+ 0,00354
8	6,4	1,005	+ 0,00200
9	7,2	1,001	+ 0,00047
10	8,0	0,998	— 0,00106
11	8,8	0,994	— 0,00259
12	9,6	0,991	— 0,00410
13	10,4	0,987	— 0,00562
14	11,2	0,984	— 0,00713
15	12,0	0,980	— 0,00863
16	12,8	0,977	— 0,01013
17	13,6	0,974	— 0,01162
18	14,4	0,970	— 0,01311
19	15,2	0,967	— 0,01459
20	16,0	0,964	— 0,01607
21	16,8	0,960	— 0,01754
22	17,6	0,957	— 0,01901
23	18,4	0,954	— 0,02047
24	19,2	0,951	— 0,02192
25	20,0	0,948	— 0,02338
26	20,8	0,944	— 0,02483
27	21,6	0,941	— 0,02627
28	22,4	0,938	— 0,02771
29	23,2	0,935	— 0,02914
30	24,0	0,932	— 0,03057
31	24,8	0,929	— 0,03200
32	25,6	0,926	— 0,03342
33	26,4	0,923	— 0,03483
34	27,2	9,920	— 0,03624
35	28,0	0,917	— 0,03765

Fahrenh.-Gr.	Factor γ	log γ
+ 32	1,034	+ 0,01448
34	1,030	+ 0,01273
36	1,026	+ 0,01098
38	1,022	+ 0,00924
40	1,017	+ 0,00750
42	1,013	+ 0,00578
44	1,009	+ 0,00406
46	1,005	+ 0,00234
48	1,001	+ 0,00064
50	0,998	— 0,00106
52	0,994	— 0,00275
54	0,990	— 0,00444
56	0,986	— 0,00612
58	0,982	— 0,00780
60	7,978	— 0,00946
62	0,975	— 0,01112
64	0,971	— 0,01278
66	0,967	0,01443
68	0,964	- 0,01607
70	0,960	— 0,01770
72	0,956	— 0,01933
74	0,953	— 0,02096
76	0,949	— 0,02257
78	0,946	— 0,02419
80	0,942	— 0,02579
82	0,939	— 0,02738
84	0,935	— 0,02898
86	0,932	— 0,03057
88	0,929	— 0,03216
90	0,925	— 0,03373
92	0,922	— 0,03530
94	0,919	- 0,03687
96	0,915	— 0,03843
98	0,912	— 0,03998
100	0,909	— 0,04153

Tafel 5. Correctionsfactoren von log B, log T und log γ.

Beobacht.-Höhe	A	λ	Beobacht.-Höhe	A	λ
0° 0′	1,1059	1,7344	6° 0′	1,0096	1,0951
10	1,0952	1,6767	10	1,0092	1,0914
20	1,0860	1,6252	20	1,0088	1,0879
30	1,0780	1,5789	30	1,0084	1,0846
40	1,0710	1,5373	40	1,0081	1,0815
50	1,0648	1,4995	50	1,0078	1,0784
1 0	1,0593	1,4653	7 0	1,0075	1,0754
10	1,0546	1,4341	10	1,0073	1,0725
20	1,0504	1,4057	20	1,0070	1,0697
30	1,0465	1,3797	30	1,0067	1,0671
40	1,0429	1,3560	40	1,0065	1,0646
50	1,0397	1,3342	50	1,0062	1,0622
2 0	1,0368	1,3141		1,0060	1,0600
10	1,0342	1,2955	8 0	1,0049	1,0493
20	1,0318	1,2783	9 0	1,0041	1,0420
30	1,0298	1,2624	10 0	1,0035	1,0357
40	1,0278	1,2477	11 0	1,0030	1,0299
50	1,0261	1,2341	12 0	1,0026	1,0252
3 0	1,0244	1,2215	13 0	—	1,0220
10	1,0230	1,2098	14 0	—	1,0197
20	1,0216	1,1989	15 0	—	1,0175
30	1,0204	1,1888	16 0	—	1,0156
40	1,0192	1,1794	17 0	—	1,0139
50	1,0182	1,1706	18 0	—	1,0124
4 0	1,0172	1,1624	19 0	—	1,0111
10	1,0163	1,1549	20 0	—	1,0101
20	1,0155	1,1478	21 0	—	1,0092
30	1,0147	1,1408	22 0	—	1,0083
40	1,0140	1,1342	23 0	—	1,0075
50	1,0133	1,1283	24 0	—	1,0068
5 0	1,0127	1,1229	25 0	—	1,0063
10	1,0121	1,1178	26 0	—	1,0058
20	1,0115	1,1130	27 0	—	1,0054
30	1,0110	1,1082	28 0	—	1,0049
40	1,0105	1,1036	29 0	—	1,0046
50	1,0100	1,0992	30 0	—	1,0031
6 0	1,0096	1,0951	35 0	—	1,0023
			40 0	—	1,0018
			45 0	—	

§. 142.

Gebrauch der Refractions-Tafel.

Bezeichnet man die beobachtete Höhe durch h, die Refraction durch ρ, so ist für die Zahlenangaben

$$\rho = \text{mittlere Refraction} \times B \times T \times \gamma$$

und für die logarithmischen Angaben

$$\log \rho = \log \operatorname{cotg} h + \log \alpha + A\,(\log B + \log.\ T) + \lambda \log \gamma. \qquad [19]$$

Nimmt man also mit dem Argument der Höhe aus Tafel 1. die mittlere Refraction, mit dem Argument des Barometerstandes aus Tafel 2. den Factor B und mit den Argumenten des innern und äufsern Thermometers aus den Tafeln 3. und 4. die Factoren T und γ, so erhält man aus dem Producte dieser Factoren den Werth für ρ. Hätte das innere Thermometer nicht beobachtet werden können, so nimmt man für dessen Angabe das äufsere.

Für die logarithmischen Angaben nimmt man aus Tafel 1. log α und aus Tafel 5. A und λ mit dem Argument der Höhe; log B mit dem Argument der Barometerhöhe aus Tafel 2.; log T mit dem Argument des innern Thermometers aus Tafel 3. und log γ mit dem Argument des äufseren Thermometers aus Tafel 4. und berücksichtigt dabei die Vorzeichen.

Beispiel. Die Zenithdistanz des oberen Sonnenrandes war $53^0\ 36'\ 40''$ also $h = 36^0\ 23'\ 20''$, $B = 28''\ 3'''$, $24 = 339'''$, 24, $T = 19^0$, 5 R, $\gamma = 20^0$,5 R.

$$\begin{aligned} \log \alpha &= 1{,}76061 \\ A &= 1{,}00000 \\ \lambda &= 1{,}00270 \\ \log T &= -\ 0{,}00170 \\ \log B &= 0{,}00776 \\ \hline \log T + \log B &= 0{,}00606 \\ \log \gamma &= -\ 0{,}02428 \\ \lambda \log \gamma &= -\ 0{,}02435 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \log \operatorname{cotg} h &= 0{,}13255 \\ \text{„}\ \ \alpha &= 1{,}76061 \\ A\,(\log T + \log B) &= 0{,}00606 \\ \lambda \log \gamma &= -\ 0{,}02435 \\ \hline \log \rho &= 1{,}87487 \\ \rho &= 74'',967 = 1'\ 14'',97 \end{aligned}$$

§. 143.

1. Da durch die Refraction alle Gestirne in einer gröfseren Höhe erscheinen, als sie wirklich haben, so werden durch sie auch diejenigen Gestirne sichtbar sein, wenn sie noch um einen der Refraction entsprechenden Bogen unter dem Horizonte sich befinden. Die Refraction wird also nicht nur den Aufgang der Gestirne beschleunigen, sondern auch ihren Untergang verzögern.

Die erste der Gleichungen [5] des §. 127. geht daher in folgende über

$$-\sin \rho = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos t_0. \qquad [20]$$

Ist nun der Stundenwinkel, welchen das auf- oder untergehende Gestirn hat, wenn die Refraction = 0 wäre, = T, so ist

$$0 = \sin\varphi \sin\delta + \cos\varphi \cos\delta \cos T. \qquad [21]$$

Leitet man daher aus der ersteren Gleichung den Werth für t_0 ab und substituiert in demselben den aus der zweiten für sin φ sin δ sich ergebenden Werth, so erhält man

$$\cos t_0 = \cos T \left(1 - \frac{\sin\rho}{\cos\varphi \cos\delta \cos T}\right). \qquad [22]$$

Noch einfacher erhält man den beschleunigten Auf- oder den verzögerten Untergang des Gestirns, wenn man blofs die Correction $\Delta\ T$ des Stundenwinkels T sucht, welche durch die Refraction hervorgebracht wird. Differenziert man dann die erste der Gleichungen [5] nach h und t, und drückt $\Delta\ T$ in Zeit aus, so ist

$$\Delta\ T = \frac{\rho}{15.\ \cos\varphi \cos\delta \sin T}. \qquad [23]$$

2. Durch die zu bestimmende Refraction läfst sich die im §. 128. berechnete Höhe eines zu beobachtenden Gestirns verbefsern und nach dieser verbefserten Höhe dann das Fernrohr genau einstellen Dazu reicht aber die mittlere Refraction in Tafel 1. aus.

In dem ersten Beispiele betrug die Höhe von α Ursae minoris, vom südlichen Theile des Horizonts aus genommen, 129°, also die vom nördlichen 51°, wozu die Refraction 47″ gehört, die in diesem Falle subtractiv genommen werden mufs; daher ist das Fernrohr für den Horizontpunkt von 180° 6′, auf 309° 7′ 48″ zu stellen. In dem zweiten Beispiele ist die Höhe von β Orionis 29¼°, wozu die Refraction 1′ 43″ gehört, daher das Fernrohr auf 209° 23′ 17″ zu stellen ist.

B. Die Parallaxe. *)

§. 144.

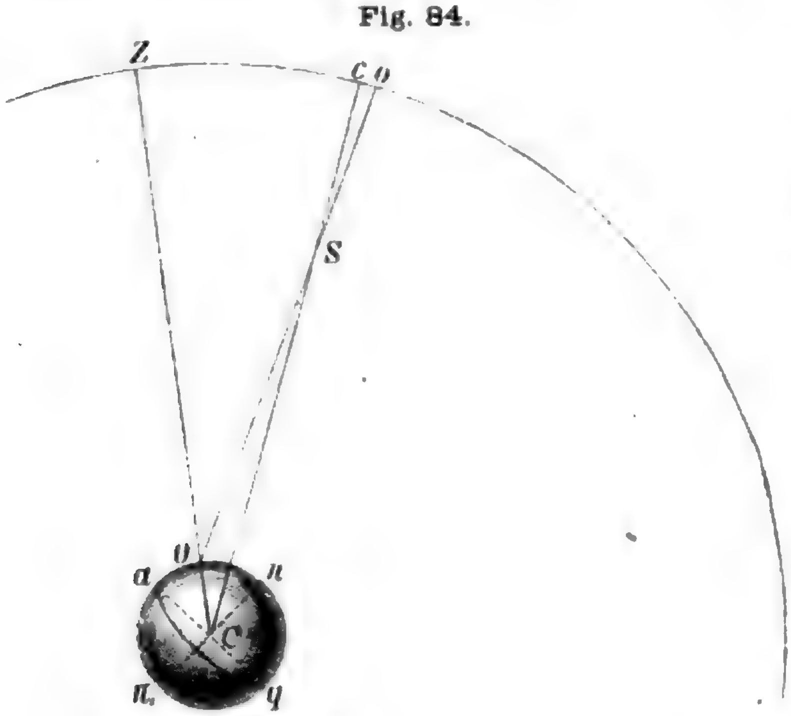
Auf dieselbe Weise, wie auf der Erdoberfläche ein von zwei verschiedenen Standpunkten aus betrachteter Gegenstand in verschiedenen Punkten des hinterliegenden Grundes oder Horizonts gesehen wird, mufs auch, aufser den Fixsternen, gegen deren Entfernung der Durchmefser der Erde als verschwindend klein erscheint, jedes andere nähere Gestirn, von verschiedenen Punkten der Erde aus beobachtet, an verschiedenen Stellen des Himmels erscheinen. Um nun die an verschiedenen Punkten der Erdoberfläche gemachten Beobachtungen desselben Gestirns nicht nur mit einander, sondern auch mit den in den astronomischen Ephemeriden enthaltenen Oertern der Gestirne, die immer als vom Mittelpunkte der Erde aus beobachtet gegeben sind, vergleichen zu können, müfsen sie auf

*) Von παρ-ἀλλαξις, Abwechselung, Abweichung, Verschiebung.

den Mittelpunkt der Erde bezogen werden. Es bedarf demnach jede einzelne Beobachtung eines Gestirns zu ihrer Reduction auf den Erdmittelpunkt einer Verbefserung.

Wird in Fig. 84., in welcher der aus C beschriebene kleinere Kreis die vorerst sphärisch angenommene Erde darstellen soll, das Gestirn S von O aus beobachtet und von der Refraction befreit gedacht, so erscheint es auf dem Himmelsgrunde in o, von C aus aber in c; dann heifst der Winkel $cSo = CSO$ die Parallaxe des Gestirns, die in der Folge im Allgemeinen durch p bezeichnet werden soll. c wird der wahre, o aber der scheinbare Ort des Gestirns genannt.

Fig. 84.



§. 145.

Ist Z das Zenith des Ortes O, so heifst der Winkel ZOS die scheinbare, der Winkel ZCS die wahre Zenithdistanz des Gestirns; erstere werde durch z_1, letztere durch z bezeichnet, so dafs also immer

$$z = z_1 - p, \text{ oder } p = z_1 - z \qquad [24]$$

ist.

Der Winkel p drückt also die Gröfse aus, um welche ein Gestirn vom Zenith abwärts, also niedriger erscheint, als wenn es in dem Erdmittelpunkte beobachtet wäre.

Setzt man den Erdhalbmefser $= r$, den Abstand des Gestirns $= \Delta$, so erhält man aus dem ebenen Dreieck OCS

$$\sin p = \frac{r}{\Delta} \sin z_1, \qquad [25]$$

woraus also die Möglichkeit der Bestimmung der Parallaxe sich ergiebt, wenn die Entfernung Δ des Gestirns bekannt wäre.

Da p, aufser beim Monde, immer nur ein sehr kleiner Winkel ist, so kann man statt des Sinus den Bogen setzen, dann ist in Sekunden

$$p = \frac{r}{\Delta} \sin z_1 \; 206265. \qquad [26]$$

Wird $z_1 = 90^0$, d. h. steht das Gestirn im Horizonte, so erreicht p seinen gröfsten Werth; dieser wird dann die Horizontalparallaxe genannt, während sie für jeden anderen Stand des Gestirns zwischen dem Horizont und dem Zenith die Höhenparallaxe heifst. Sie ist daher dem Sinus der scheinbaren Zenithdistanz proportional. Bezeichnet man die Horizontalparallaxe durch π, so wird

$$\sin \pi = \frac{r}{\Delta}, \qquad [27]$$

oder für die meisten Fälle, in Sekunden

$$\pi = \frac{r}{\Delta} \, 206265. \qquad [28]$$

Ist r der Halbmefser des Erdäquators, so wird π die Aequatoreal-Horizontalparallaxe genannt. Nach den Bestimmungen von Encke ist die Aequatoreal-Horizontalparallaxe der Sonne 8,57116 Sekunden; dieser Werth bezeichnet demnach den Winkel, unter welchem der Halbmefser des Erdäquators von der Sonne aus gesehen wird, wenn sie für die Orte des Erdäquators im Horizonte steht.

§. 146.

Setzt man in [25] für $\frac{r}{\Delta}$ seinen Werth aus [27], so erhält man

$$\sin p = \sin \pi \sin z_1. \qquad [29]$$

Ist daher für irgend ein Gestirn die Horizontalparallaxe bekannt, so kann man aus der beobachteten scheinbaren Zenithdistanz desselben seine Höhenparallaxe leicht finden. Hiervon wird bei der Zeitbestimmung durch die beobachtete Höhe der Sonne oder eines Fixsterns aufserhalb des Meridians Gebrauch gemacht. Für die Sonne ist die Horizontalparallaxe von 10 zu 10 Tagen in den astronomischen Ephemeriden gegeben; für Fixsterne ist sie $= 0$, so wie sie auch für jedes im Zenith stehende Gestirn $= 0$ ist.

Ist aber Statt z_1 die wahre Zenithdistanz z gegeben, so erhält man, für z_1 den obigen Werth $z + p$ aus [24] gesetzt

$$\sin p = \sin \pi \sin (z + p), \qquad [30]$$

woraus folgt

$$tg\, p = \sin \pi \sin z + \sin \pi \cos z \; tg\, p,$$

oder

$$tg\, p = \frac{\sin \pi \sin z}{1 - \sin \pi \cos z}, \qquad [31]$$

mithin in eine Reihe aufgelöst,

$$p = \sin \pi \sin z \; 206265 + \frac{\sin \pi^2 \sin 2z}{2} \, 206265 + \frac{\sin \pi^3 \sin 3z}{3} \, 206265 + \ldots\ldots, \qquad [32]$$

wornach also die Höhenparallaxe eines Gestirns unter der Voraussetzung, dafs die Erde eine Kugel ist, leicht berechnet werden kann. Verlangt man den Werth

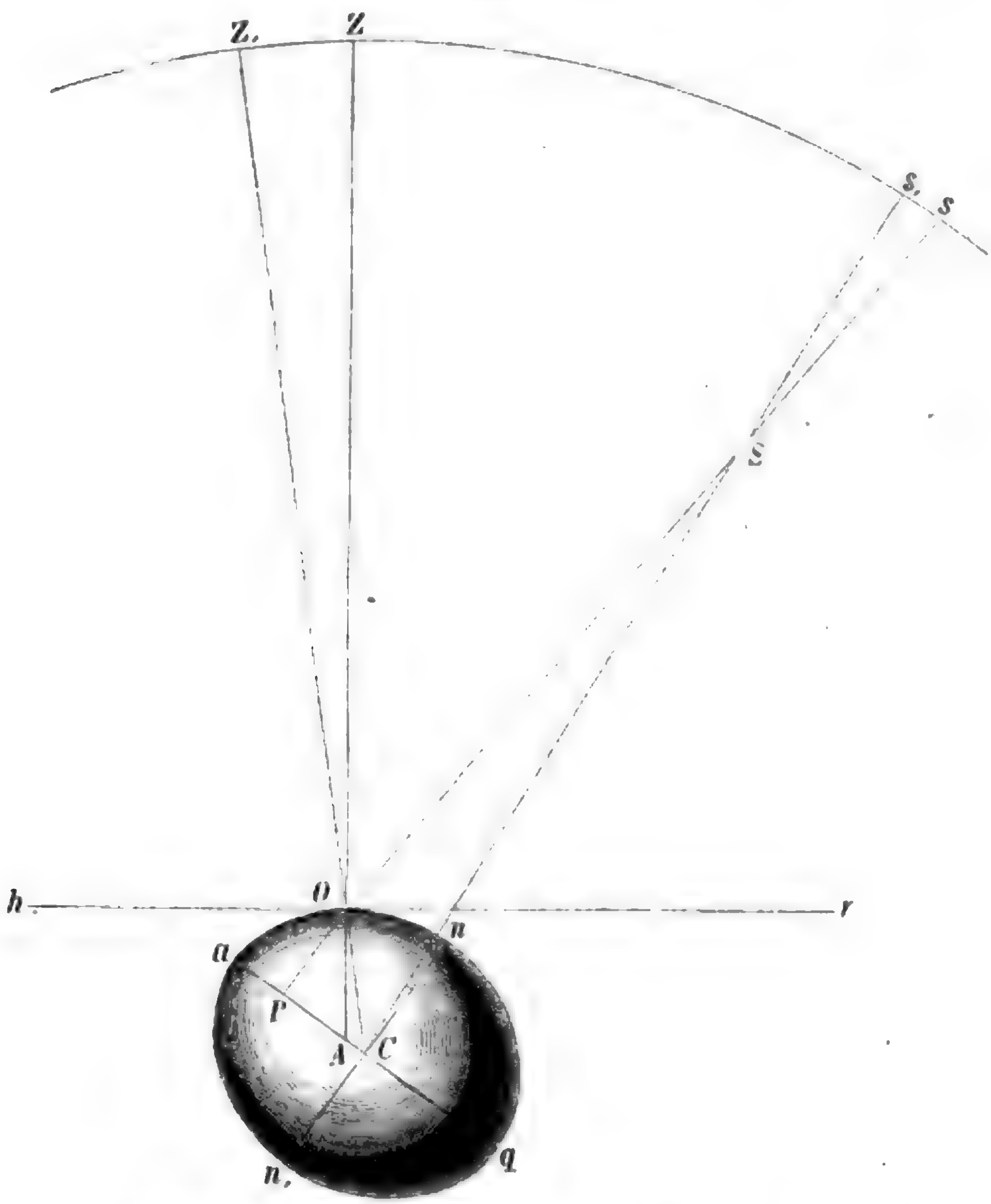
für p nur bis auf Zehntheile der Sekunde, so reichen schon die beiden ersten Glieder der Reihe aus. Für den Mond ist die Horizontalparallaxe für den mittleren Mittag und die Mitternacht in den astronomischen Ephemeriden angegeben.

§. 147.

Um aber für jeden Ort der Erde die Parallaxe eines Gestirns berechnen zu können, mufs man ihn auf den Mittelpunkt der nach ihrer wahren Gestalt betrachteten sphäroidischen Erde beziehen.

Es sei in Fig. 85: $a\,n\,q\,n_1$ ein durch den Ort O gelegter Durchschnitt des

Fig. 85.



Erdsphäroids, mithin der Meridian des Orts, wenn $n\,n_1$ die Erdachse und $a\,q$ der Aequatordurchmefser ist. Die durch O gelegte Berührungslinie hr stellt demnach den scheinbaren Horizont des Orts vor und der Winkel $O\,A\,a$, welchen die auf *ihr* errichtete Winkelrechte $O\,A$ mit Ca bildet, die geographische Breite oder

Polhöhe des Orts $= \varphi$. Dann heifst der Punkt Z der Himmelskugel, welcher in der Verlängerung von CO liegt, das wahre oder geocentrische Zenith, der Punkt Z_1 aber, wohin die Verlängerung von AO trifft, das scheinbare Zenith des Ortes O, so wie endlich der Winkel OCA die geocentrische Breite oder die verbefserte Polhöhe desselben; er werde durch φ_1 bezeichnet.

Da nun offenbar der Punkt O auf den Erdmittelpunkt C bezogen ist, wenn man $CO = r$ und $OCa = \varphi_1$ bestimmt, so ist für den Anfangspunkt der Abscissen im Mittelpunkt der Ellipse $anqn_1$, deren halbe grofse Achse $= a$ und deren halbe kleine Achse $= b$ ist, AP die Subnormale des Punktes O und daher

$$AP = \frac{b^2}{a^2} x.$$

Ferner ist $$OP = AP \, tg \, \varphi = CP \, tg \, \varphi_1,$$

folglich $$\frac{b^2}{a^2} x \, tg \, \varphi = x \, tg \, \varphi_1,$$

oder $$tg \, \varphi_1 = \frac{b^2}{a^2} tg \, \varphi, \qquad [32]$$

woraus demnach die verbefserte Polhöhe aus der bekannten geographischen Breite des Orts berechnet werden kann, da für das Erdsphäroid a und b hinlänglich genau bekannt sind.

Es ist nämlich nach Bessel's Untersuchungen *)

$$a = 3\,272077{,}14 \text{ Toisen oder } \log a = 6{,}5148235$$
$$b = 3\,261139{,}33 \quad " \quad " \quad " \quad b = 6{,}5133693$$

und $$\frac{a-b}{a} = \alpha = \frac{1}{299{,}1528}.$$

Für einen Ort, dessen Polhöhe $= 52^0\ 22'\ 32'',5$ ist, ist daher die verbefserte Polhöhe $52^0\ 11'\ 24'',039$.

Ferner ist in der Ellipse

$$a^2 b^2 = b^2 x^2 + a^2 y^2,$$

und da $$OP = y = \frac{b^2}{a^2} x \, tg \, \varphi,$$

so ist $$x = \frac{a^2}{\sqrt{a^2 + b^2 \, tg \, \varphi^2}} = \frac{a}{\sqrt{1 + \frac{a^2}{b^2} tg \, \varphi^2_1}} = \frac{a}{\sqrt{1 + tg \, \varphi \, tg \, \varphi_1}},$$

folglich, da $$r = \frac{x}{\cos \varphi_1},$$

$$r = \frac{a}{\cos \varphi_1 \sqrt{1 + tg \, \varphi \, tg \, \varphi_1}},$$

*) Baeyer, die Gröfse und Figur der Erde. Berlin, Reimer 1861, S. 29

oder, wenn man $tg\ \varphi = \frac{\sin \varphi}{\cos \varphi}$ u. s. w. setzt, und den Ausdruck für $\cos(\varphi - \varphi)$ anwendet,

$$r = a \sqrt{\frac{\cos \varphi}{\cos \varphi_1 \cos (\varphi - \varphi_1)}}. \qquad [33]$$

Nach den Formeln [32] und [33] kann man also für jeden Ort der Erde, dessen Polhöhe φ bekannt ist, die verbefserte Polhöhe φ_1 und den Radiusvector r oder die Entfernung desselben vom Mittelpunkte der Erde berechnen. Kennt man nun aufserdem noch die Sternzeit, so kann man für jeden Augenblick die Lage eines Orts gegen den Erdmittelpunkt angeben.

§. 148.

So lange nun die Erde als eine Kugel angesehen wird, wird in die durch das Zenith, den Ort der Erde und das Gestirn gehende Ebene, auch die von dem Erdmittelpunkte nach dem Gestirn gehende Linie fallen, mithin die Parallaxe nur auf die Höhe des Gestirns einwirken. Nimmt man aber die wirkliche sphäroidische Gestalt der Erde an, so wird nicht das scheinbare Zenith, das zu den Beobachtungen nur benutzt werden kann, sondern das wahre Zenith in die von dem Gestirn, dem Orte und dem Mittelpunkte der Erde festgelegte Ebene fallen und deshalb die Parallaxe nicht nur auf die Höhe, sondern auch auf das Azimuth, die Rectascension und Declination des Gestirns, so wie auch auf die Länge und Breite einwirken und selbst der Ausdruck für die Höhenparallaxe ein anderer werden. Da aber der Geodät meistens nur die Beobachtungen im Meridian anstellen wird, in welchem aber die Parallaxe im Azimuth und in Rectascension = Null ist, der Nautiker auch bei seinen Ortsbestimmungen sich vorzugsweise auf die Mondsbeobachtungen beschränken wird, wozu er die in den Ephemeriden angegebene Horizontalparallaxe desselben benutzt, daher eigentlich nur für den Astronom die genaue Kenntnifs über die Entwicklung der anzuwendenden Formeln von Wichtigkeit ist: so wird es hinreichen, wenn hier nur die Formeln angeführt werden, hinsichtlich ihrer Ableitung aber auf Brünnow's Lehrbuch der sphärischen Astronomie, Berlin 1851 S. 94 u. f. verwiesen wird.

Bezeichnet man nämlich, wie vorhin, den Radiusvector des Orts durch r; die Aequatoreal-Horizontalparallaxe durch p; die Polhöhe desselben durch φ; die verbefserte Polhöhe durch φ_1; die gemefsene scheinbare Zenithdistanz eines Gestirns durch z; die zu berechnende wahre Zenithdistanz desselben durch z_1; das Azimuth, die Rectascension und Declination des Gestirns, von dem Erdorte aus beobachtet, beziehungsweise durch A, α und δ, von dem Erdmittelpunkte aus aber beobachtet, durch A_1, α_1 und δ_1, so ist

$$A - A_1 = \frac{r \sin p \sin (\varphi - \varphi_1)}{\sin z_1} \sin A,$$

$$z - z_1 = r \sin p \sin (z_1 - [\varphi - \varphi_1]) \cos A,$$

so dafs also, wie schon oben bemerkt wurde, für den Meridian die Parallaxe im Azimuth = 0 und die der Zenithdistanz

$$z - z_1 = r \sin p \sin (z - [\varphi - \varphi_1])$$

ist. Bezeichnet ferner π die Aequatoreal-Horizontalparallaxe der Sonne, nimmt man für r den Halbmefser des Erdäquators zur Einheit, und ist Σ die Sternzeit, so wie Δ_1 die Entfernung des Gestirns vom Erdmittelpunkte, so ist

$$\alpha - \alpha_1 = -\frac{\pi \,.\, r \cos \varphi_1}{\Delta_1} \cdot \frac{\sin (\Sigma - \alpha_1)}{\cos \delta_1},$$

so dafs also durch die Parallaxe die Rectascensionen der Gestirne auf der Westseite des Meridians vermindert, auf der Ostseite aber vergröfsert werden.

Setzt man ferner

$$tg\, \gamma = \frac{tg\, \varphi_1}{\cos (\Sigma - \alpha_1)},$$

so ist
$$\delta - \delta_1 = -\frac{\pi \,.\, r \sin \varphi_1}{\Delta_1} \cdot \frac{\sin (\gamma - \delta_1)}{\sin \gamma}.$$

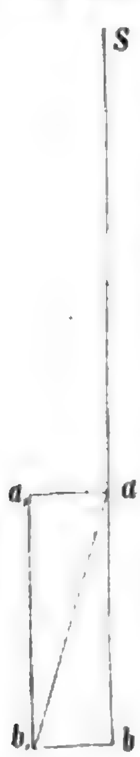
Anmerkung. Mit der hier in Rede stehenden Parallaxe darf aber die jährliche Parallaxe nicht verwechselt werden, daher die erstere auch wohl im Gegensatze zur letzteren die tägliche Parallaxe genannt wird. So wie nämlich der täglichen Parallaxe der Erdhalbmefser zum Grunde liegt, dient bei der jährlichen Parallaxe der Halb- oder Durchmefser der Erdbahn zur Grundlage und daher ist letztere der Unterschied der Oerter der Gestirne aus dem Mittelpunkte der Sonne und einem Punkte der Erdbahn beobachtet, oder der Unterschied des heliocentrischen und geocentrischen Orts eines Gestirns. Sie giebt bekanntlich das Mittel ab, die Entfernung der Fixsterne von der Sonne zu bestimmen.

C. Die Aberration.

§. 149.

Wegen des angebbaren Verhältnifses der bekannten Geschwindigkeit des Lichts zu der Erde bei ihrem jährlichen Umlauf um die Sonne, werden die Gestirne von dem mit der Erde sich bewegenden Auge nicht in der Richtung gesehen, in der sie wirklich sich befinden, sondern erscheinen immer um einen kleinen Bogen nach der Richtung, nach welcher sich die Erde bewegt, vorgerückt.

Fig. 86.



Ist in Fig. 86. S ein Stern, von welchem die Lichtstrahlen in immer parallelen Richtungen die Erde treffen, so wird nach der schönen Erklärung, die Gaufs in seiner theoria motus corporum coelestium p. 68. von der Aberration giebt, letztere dadurch entstehen, dafs mit der Erde sich das Fernrohr bewegt, während ein Punkt des Lichtstrahls die optische Achse desselben durchläuft. Trifft nun der von S kommende Lichtstrahl in dem Zeitmomente t das Objectiv des Fernrohrs in a, das Ocular in b, in dem späteren Zeitmomente t_1 aber beziehungsweise in a_1 und b_1, so wird, da der das Auge treffende Strahl von der Bewegung der Erde und der des Lichts getrieben wird, die Diagonale $a b_1$ des Rechtecks $a b b_1 a_1$ die wahre Richtung des Lichtstrahls darstellen, die Richtung ab aber, oder, wegen der unendlichen Entfernung der Fixsterne, die mit ihr parallele $a^1 b^1$ den scheinbaren Ort des Sterns bezeichnen, der

offenbar nicht von der Länge des Fernrohrs abhängig ist. Der Unterschied zwischen ab^1 und ab (oder a_1b_1) heifst die (jährliche) Aberration der Fixsterne.

Da nun das Licht der Sonne, in der mittleren Entfernung derselben, zur Erde in 8 Minuten 13 Sekunden gelangt, in dieser Zeit aber die Erde bei ihrer Umwälzung einen Weg von 40 Bogensekunden zurücklegt, so wird die Geschwindigkeit des Lichts zu der der bewegten Erde sich verhalten, wie 1 zu der Länge des Bogens von 40 Sekunden, d. h. zu 0,00019393..., oder wie 10313 zu 1.

Trifft der Lichtstrahl eines Gestirns das Fernrohr oder das Auge in normaler Richtung, wie diefs bei der Sonne der Fall ist, so ist, da $tg\ b_1ab = \frac{1}{10313}$, die Aberration der Sonne = 20,255 Sekunden, um welche Gröfse daher die Länge der Sonne vermehrt werden mufs, während die Breite derselben unverändert bleibt. Bei Gestirnen aufserhalb der Ekliptik wird aber die Aberration sowohl die Länge, als die Breite der Gestirne verändern.

Es kann nicht die Absicht sein, hier die Formeln für die Aberration der Fixsterne in Rectascension und Declination, sowie in Länge und Breite abzuleiten, und verweise ich in dieser Beziehung auf das schon mehrfach citierte Lehrbuch der sphärischen Astronomie von Brünnow, ohnehin, da die Berechnung derselben nach den Formeln unbequem ist und sie meistens nach den Gaufs'schen Tafeln ausgeführt wird. Die von Nicolai berechneten finden sich in der Warnstorff'schen Ausgabe der Schumacher'schen Sammlung von Hülfstafeln, Altona, 1845.

§. 150.

Auch die tägliche Achsendrehung der Erde bringt eine Aberration hervor, welche die tägliche Aberration genannt wird, wegen der viel geringeren Geschwindigkeit der Achsendrehung der Erde gegen die ihrer Revolution aber viel unbedeutender ist, als die jährliche Aberration. Auch für sie sind in dem genannten Werke von Brünnow die Formeln für die Rectascension und Declination abgeleitet. Es mag in Bezug auf die Benutzung der in den astronomischen Ephemeriden gegebenen Sternörter noch bemerkt werden, dafs an dieselben noch vor der Vergleichung mit den Beobachtungen, für die Rectascension noch die Verbefserung

$$d\alpha = + \frac{0^s,021 \cos\varphi \cos t}{\cos\delta} \text{ in Zeit *}), \qquad [34]$$

für die Declination

$$d\delta = - 0'',31 \cos\varphi \sin t \sin\delta \text{ im Bogen} \qquad [35]$$

*) Berliner astronomisches Jahrbuch.

angebracht werden mufs, in welchen Ausdrücken wieder t den Stundenwinkel darstellt, der östlich genommen positiv ist.

Für die Beobachtungen im Meridian ist für die obere Culmination

$$d\alpha = +\frac{0^s,021 \cos\varphi}{\cos\delta} \text{ in Zeit,} \quad [36]$$

$$d\delta = 0; \quad [37]$$

für die untere Culmination

$$d\alpha = -\frac{0^s,021 \cos\varphi}{\cos\delta} \text{ in Zeit,} \quad [38]$$

$$d\delta = 0.$$

Will man die Verbesserungen an die Beobachtungen anbringen, so ist

$$\text{für die obere Culmination } d\alpha = -\frac{0^s,021 \cos\varphi}{\cos\delta}, \quad [39]$$

$$\text{„ „ untere „ } d\alpha = +\frac{0^s,021 \cos\varphi}{\cos\delta}. \quad [40]$$

Für α und δ Ursae minoris sind die Verbefserungen beziehungsweise

$$\left.\begin{array}{ll} \text{für die obere Culmination} & d\alpha = +0^s.83 \cos\varphi, \\ & d\alpha = +0^s,35 \cos\varphi, \\ \text{„ „ untere „} & d\alpha = -0^s.83 \cos\varphi, \\ & d\alpha = -0.35 \cos\varphi. \end{array}\right\} \quad [41]$$

IV. Die Höhen- und die Höhen- und Azimuthal-Instrumente.

A. Das tragbare Durchgangs-Instrument von Meyerstein.

§. 151.

Der Zweck des in den Fig. 87. und 88. im Viertel der natürlichen Gröfse dargestellten, von Meyerstein in Göttingen verfertigten tragbaren Durchgangs-Instruments ist vorzugsweise auf die Bestimmung der Meridianhöhen (§. 120.) und der Durchgänge der Gestirne durch den Meridian gerichtet; kann aber auch zur Bestimmung der Höhen terrestrischer Gegenstände mit gleicher Bequemlichkeit angewandt werden, indem es diese Bestimmung von verschiedenen Punkten des Limbus aus gestattet. Es kann aber, da mit ihm auch ein zwölfzölliger Azimuthalkreis verbunden ist, von dem reisenden Astronomen und Geographen sowohl zu Zeit- und geographischen Ortsbestimmungen, als auch zur Bestimmung der Azimuthe der Gestirne und irdischen Objecte benutzt werden. Es findet sich dasselbe in einem eigens erbauten kleinen Observatorium der hiesigen polytechnischen Schule aufgestellt und wird daselbst theils zum Unterricht in der praktischen Geometrie, hauptsächlich aber zur Zeitbestimmung benutzt Fig. 87. giebt die Ansicht des in dem Meridian aufgestellten Apparats nach Süden, Fig. 88. die, nach Osten gesehen; erstere stellt also seine Projection auf den ersten Vertical, letztere die Projection auf den Meridian dar.

§. 152.

Das Durchgangsinstrument ist aus zwei für sich bestehenden und von einander zu trennenden Theilen zusammengesetzt. Der untere besteht aus einem starken Dreifufs *AA*, mit welchem die durchbohrte Säule *B* nebst Zubehör und der Azimuthalkreis *CC* ein festes Ganzes bildet.

Das Mittelstück des Dreifufses ist zur Aufnahme der Verticalachse ebenfalls durchbohrt. Die Oberfläche des Kopfes seiner 3 Stellschrauben enthält eine Eintheilung in 100 gleiche Theile, deren Index von der einen Seitenkante der auf den Armen befestigten 3seitigen Prismen *aa* gebildet wird. (§. 76.) Die Spitzen der Stellschrauben treten in Unterlegscheiben, durch deren Schraubenspitzen dem Apparat eine unabänderliche Lage auf einer Steinplatte *D* ertheilt wird. (§. 75.)

Die 10 Zoll hohe, Unten $3^1/_2$ Zoll, Oben $2^1/_2$ Zoll dicke Säule von Rothgufs stellt eine 16seitige abgestumpfte Pyramide vor, welche auf ihrem oberen dünneren Ende den Echinus *b* des dorischen Capitäls und den cylindrisch geformten Abacus b_1 trägt. Das cylindrische Mittelstück des Azimuthalkreises, das mit der Flansche *c* ein Ganzes bildet, ist mit seinem Rande durch 8 hinreichend starke Speichen verbunden. Der silberne Limbus desselben, von $11^1/_2$ Zoll innerem Durchmefser, ist unmittelbar von 10 zu 10 Minuten getheilt, jeder seiner beiden Verniers giebt 10 Sekunden an, läfst aber noch den Bogenwerth von 3 zu 3 Sekunden mit Sicherheit schätzen. Die Durchbohrungen aller erwähnten Theile nehmen die stählerne Verticalachse auf, wodurch nicht nur die Azimuthalbewegung des oberen Theiles des Instrumentes, sondern auch die Bewegung der Alhidade *ee* (Fig. 88.) des Azimuthalkreises mit ihren beiden Verniers möglich ist. Um einen Ansatz der Alhidade bewegt sich der Loupenring mit den beiden die Loupen tragenden Armen. An einer Flansche des oberen Konus der Verticalachse ist die fast 1 Zoll dicke Fufsplatte *EE* der nach Oben sphärisch gekrümmten und gabelförmig sich erweiternden Stützen *FF* der Fernrohrachse befestigt; letztere vereinigen sich nach Oben wieder zu Parallelepipeden $F_1 F_1$, welche die Lager der erwähnten Achse enthalten. Das eine derselben ist durch eine Stellschraube und zwei Zugschrauben verstellbar. (M. vgl. Fig. 109.) Da bei der Umlegung der Fernrohrachse in ihren Lagern, die Arme der Hemmungsvorrichtungen für die Achse und den Mikroskopenträger an entgegengesetzte Seiten der Stützen kommen, so erweitern sich dieselben zu diesem Zwecke auch nach Unten in zwei gabelförmige Stücke $F_2 F_2$, mit einem an ihren Enden angebrachten rechtwinklichten Ansatz zur Aufnahme des Arms der Hemmungsvorrichtung des Mikroskopenträgers; ff_1 sind die Mikrometerschrauben, $f_2 f_3$ aber die Muttern für das erforderliche Vor- und Zurückziehen der Spiralfedern der Mikrometerwerke (Fig. 88.). Genauer stellt diese Einrichtung Fig. 78. dar. Der Verticalzapfen wird von einer hinreichend starken Feder f_4 getragen, die in den Armen des Dreifufses durch Schrauben befestigt ist und mittelst einer Mutter f_5 gegen den Dreifufs gehalten.

Endlich bezeichnet c_1 die Klemmschraube, c_2 die Mikrometerschraube und c_3 das Gehäuse für die Spiralfeder des Mikrometerwerks für den Azimuthalkreis. (Vgl. Figg. 74. u. 79.)

§. 153.

Der zweite, obere Theil des Durchgangsinstruments besteht aus der Fernrohrachse G, dem Fernrohr H, dem Verticalkreise K und dem Balancierungskreise L, die alle theils durch Flanschen, theils durch Verbindungsstücke mittelst versenkter Schrauben zu einem Ganzen vereinigt sind. Mittelst einer eigenen Büchse, welche auf das eine Ende der Umdrehungsachse geschoben ist, kann auch der damit ein Ganzes bildende Mikroskopenträger MM gegen den Verticalkreis verstellt, durch eine Hemmungsvorrichtung aber seine Büchse gegen den mit der Umdrehungsachse des Fernrohrs zugleich rotierenden Verticalkreis festgestellt werden, woraus also die Möglichkeit der Bestimmung der Verticalwinkel von verschiedenen Punkten des Limbus des Kreises hervorgeht.

Die Umdrehungsachse G des Fernrohrs mit ihren Erweiterungen ist von Stahl und hat im Ganzen eine Länge von 22 Zoll. Der mittlere Theil derselben ist ein etwa $2^1/_4$ Zoll dicker und $1^3/_4$ Zoll langer Cylinder, an dessen Grundebenen sich zwei abgestumpfte Kegel legen. Die kleineren Grundebenen dieser letzteren laufen in die cylindrischen Zapfen aus, welche in den Achsenlagern der Stützen FF ihren Ruhepunkt haben. Der eine Zapfen erweitert sich zur Befestigung des Balancierungskreises L nach Aufsen in eine Flansche, während der Verbindungscylinder g, mit welchem das Fernrohr H verbunden ist, wieder mittelst versenkter Schrauben mit dem Kreise L ein Ganzes bildet. In eine eben solche Flansche läuft, zur Befestigung des Verticalkreises K, der andere Zapfen aus, während, wie schon erwähnt ist, der konische Fortsatz der Flansche zur Aufnahme der Büchse m des Mikroskopenträgers dient.

§. 154.

Das Objectiv des achromatischen Fernrohrs hat 36 Linien Oeffnung mit 32 Zoll Brennweite, die Vergröfserung desselben ist beinahe = 120. Das Ramsden'sche astronomische Ocular enthält zur gleich bequemen Beobachtung aller Gestirne ein Prisma, ist mit einem vorzuschiebenden Sonnenglase versehen und zum Verschieben eingerichtet. Das Fadennetz, dessen Blendrahmen die nöthigen Correctionsschrauben enthält, besteht aus 2 sehr nahe zusammenliegenden Horizontal- und 7 Verticalfäden, die einen nahe gleichen Abstand von einander haben und von welchen der mittlere den Meridianfaden bezeichnet. Die Bestimmung der Fadenabstände von dem mittleren wird im §. 186. angegeben werden. Ueber die Construction des Oculars ist §. 51. und Fig 32 a und b zu vergleichen, worin dasselbe in natürlicher Gröfse dargestellt ist. Zur Parallelstellung der Horizontalfäden mit einem durch das Feld des Fernrohrs gehenden Aequatorealsterne, der,

sowie auch jeder andere Stern, immer zwischen die beiden Fäden gebracht wird, dient ein mit der Ocularröhre verbundener Stahlrücken, gegen welchen zwei diametral gegenüberstehende Stellschrauben treten, die in dem Objectivrohre ihre Muttern haben. Indem die eine der Schrauben etwas gelüftet wird, kann die Ocularröhre um ihre Achse gedreht und durch die Schrauben auch wieder festgestellt werden. Die eine dieser Schrauben ist in Fig. 87. durch h bezeichnet. Wird das Fernrohr auf einen Fixstern gerichtet und das Ocularrohr soweit ausgezogen, oder eingeschoben, bis derselbe als ein kleiner heller Kreis mit ganz scharfen Umrissen erscheint, so mufs letzteres durch die erwähnten Stellschrauben festgestellt werden. Es ist zweckmäfsig, die Weite des Auszuges durch einen auf der Oberfläche der Ocularröhre mit einem scharfen Mefser eingerifsenen Kreis zu bezeichnen, um bei einer etwaigen Verschiebung der Röhre, vor der Beobachtung eines Fixsterns den Auszug sogleich in die richtige Lage bringen zu können.

Zur Beleuchtung des Fadennetzes für nächtliche Beobachtungen ist der mittlere Cylinder des Fernrohrs an der vorderen Seite cylindrisch ausgeschnitten und mit einem kleinen, eine Glasplatte haltenden Ansatze h_1 (Fig. 87.) versehen, durch welchen das Licht einer vorgesetzten Blendlaterne gelangen kann. Die Lichtstrahlen fallen auf ein kleines dreiseitiges Glasprisma, welches durch ein Stiftchen mit dem auf der Oberfläche des Objectivrohrs sich findenden Knopfe h_2 in Verbindung steht. Durch Drehen dieses Knopfes kann den einfallenden Lichtstrahlen die eine Katheteneben des Prisma's ganz oder nur theilweise zugekehrt, also das Innere des Fernrohrs sammt dem Fadennetz mehr oder weniger stark erhellt werden. Diese Moderierung des Lichts ist bei der Beobachtung kleinerer oder gröfserer Gestirne, oder bei geringerer oder stärkerer Klarheit der Luft sehr wünschenswerth. Durch einen vorgeschobenen Deckel, der auf dem erwähnten Ansatze h_1 drehbar ist, wird bei Beobachtungen am Tage das durch die Glasplatte einfallende Tageslicht abgehalten. Die Art der Beleuchtung durch die Laterne wird weiter unten beschrieben.

§. 155.

Der Verbindungskreis K sowohl, als der Balancierungskreis L ist, wie schon erwähnt, an einer Flansche der Rotationsachse mit letzterer durch versenkte Schrauben zu einem Ganzen verbunden, jeder dreht sich also zugleich mit der Rotation des Fernrohrs. Die Ränder beider völlig symmetrisch construierter Kreise sind mit dem cylindrischen Mittelstück ebenfalls durch 8 hinreichend starke Speichen zusammengesetzt, von denen in Fig. 88. nur bei dem Limbuskreise einige, und auch nur theilweise sichtbar sind. Der silberne Limbus des Kreises K von 18 Pariser Zoll innerem Durchmefser ist unmittelbar von 3 zu 3 Minuten getheilt und vom Mittelpunkte aus betrachtet, von Links nach Rechts mit wachsender Bezifferung bezeichnet. Zum Ablesen der Grade und Gradtheile, sowie auch zum

Einstellen des Fernrohrs auf eine bestimmte Höhe oder Zenithdistanz, dient ein zwischen Schraubenspitzen befestigter und daher etwas verstellbarer Vernier n, der 10 Sekunden angiebt und an dem Ende der rahmenförmigen, knieartig gebogenen Alhidadenplatte NN (Fig. 88.) angebracht ist. Diese ist an der Büchse m (Fig. 87.) des Mikroskopenträgers befestigt und gestattet also mit letzterem zugleich eine Achsendrehung. Zum Ablesen der Theilstriche dient die auf dem Alhidadenrahmen befestigte und zugleich drehbare Loupe n_1 (Fig. 88.) mit der Blendung n_2. Der Index des Verniers zeigt, bis auf den noch zu bestimmenden Indexfehler des Horizont- oder Zenithpunkts, auf 0° der Theilung, wenn das horizontal gedachte Fernrohr nach Norden gerichtet ist.

§. 156.

Das Mikroskopenkreuz (Mikroskopenträger) besteht aus zwei Paaren, parallel der Kreisebene und normal zu einander gerichteten abgestumpften Kegeln MM, von der Büchse des Kreuzes ausgehend und ist durch vier versenkte Schrauben mit deren Fortsatz verbunden. Die unveränderte Stellung der mittelst eines Schlofses an den dünneren Enden der Kegel befestigten Schraubenmikroskope (Mikrometer-Mikroskope) $M_1 M_2 M_3 M_4$, von denen aber in Fig. 87. nur M_1 und M_4 dargestellt sind, wird durch vier mit den genannten Kegeln verbundene cylindrische Querstücke $m_1 m_1 m_1 m_1$ erreicht. Die cylindrischen Hülsen für die Mikroskope sind durch prismatische Fortsätze an eben solchen des Kreuzes mittelst Zugschrauben befestigt, an einer Seite aufgeschlitzt und daselbst auch mit prismatischen Ansätzen versehen, durch deren Klemmschrauben die Mikroskope befestigt werden. Durch die Lösung dieser Schrauben können aber auch den Mikroskopen diejenigen Stellungen ertheilt werden, um die Theilstriche des Limbus in völliger Reinheit erscheinen zu lassen. Ueber die Construction und den Gebrauch der Schraubenmikroskope sind die §§. 65. und 66., so wie Figg. 43. und 44. zu vergleichen, in welchen sie in natürlicher Gröfse dargestellt sind. Die durchaus nöthige helle Beleuchtung der Limbusstriche wird durch aufgesetzte Blenden $M_2 M_2$ (Fig. 87.) erreicht. Zur Versicherung des unveränderlichen Standes des Mikroskopenträgers bei der Rotation des Verticalkreises, dient die mit der nöthigen Correctionsvorrichtung versehene Röhrenlibelle O, welche auf dem oberen horizontalen Querriegel befestigt ist.

Es ist schon im §. 66. 2. erwähnt, dafs die Schraubenmikroskope für das Intervall von 3 Minuten des Verticalkreises nahezu 2 Umdrehungen geben, mithin 1 Trommeltheil ungefähr $1\frac{1}{2}$ Sekunden angiebt. Nach den daselbst beschriebenen Bestimmungen des Werthes der Schraubengänge der verschiedenen Schraubenmikroskope sind durch die ganze Kreisperipherie die Einstellungen und Ablesungen von 10 zu 10 Graden ausgeführt, wonach im Mittel

für das Mikroskop M_1 ein Trommeltheil = 1,4825

„ „ „ M_2 „ „ = 1,461

für das Mikroskop M_3 ein Trommeltheil = 1,5055
und " " " M_4 " " = 1,502
Sekunden enthält.

§. 157.

Zur Hemmung der groben Bewegung des Fernrohrs und feinen Einstellung defselben auf ein Gestirn oder auf ein terrestrisches Höhenobject, dient ein an der verlängerten Umdrehungsachse angebrachter geschlofsener Ring nebst Arm P (Fig. 87.) und eine Bremsplatte. Die Hemmung erfolgt durch Anziehen der Prefsschraube p; die feine Einstellung aber durch die Mikrometerschraube f und die ihr gegenüberliegende Spiralfeder, welcher durch die Mutter f_2 (Fig. 88.) die erforderliche Spannung ertheilt wird. Im vergröfserten Mafsstabe zeigt diese Construction Fig. 78.

Da aber der Vernier des Verticalkreises, wie schon erwähnt, nicht allein zur Ablesung der Grade und Gradtheile des Limbus, sondern vorzugsweise auch zur vorläufigen Einstellung des Fernrohrs auf ein zu beobachtendes Gestirn dienen soll, in diesem Falle aber der Beobachter nicht zu dem eben erwähnten Mikrometermafse gelangen kann, so ist an der Erweiterung N der schon oben genannten Alhidade ein zweites Mikrometerwerk Q mit der Halterplatte und der Klemmschraube q (Figg. 87. und 88.) vor dem Rande des Verticalkreises angebracht. Die Mutter der Mikrometerschraube q_1 findet sich an der an dem Fortsatze des Rahmens N construierten Klemme, deren genaue Einrichtung aus den Figg. 72. und 73. zu erkennen ist, wenn die daselbst dargestellte Differenzialschraube durch eine gewöhnliche Mikrometerschraube mit Kugel substituiert wird. Vor dem Einstellen des Fernrohrs auf eine bestimmte Höhe ist nun die etwa angezogene Prefsschraube p zu lüften, worauf unter Anwendung des Mikrometerwerks Q das Einstellen ausgeführt werden kann. Darauf ist die Prefsschraube p wieder fest anzuziehen, dagegen aber die Klemmschraube q völlig zu lösen, damit später der an der entgegengesetzten Seite des Instrumentes sitzende Beobachter an der Mikrometerschraube f die noch etwa zu verbefsernde Einstellung sogleich ausführen kann.

Die Hemmungsvorrichtung des Mikroskopenträgers mit der Alhidade NN bildet ein Ring, welcher mit einem seitlichen ringförmigen Ansatze die stählerne Horizontalachse umgiebt und zugleich einen Theil der Büchse des Mikroskopenträgers einschliefst. Nach Unten läuft der Ring in einen Rahmen RRR, nach Oben in eine denselben balancierende prismatische Platte R_1 aus. Zugleich enthält der Ring den cylindrischen Fortsatz r, in welchem die Mutter der Prefsschraube r_1 liegt. Durch die Anziehung der letzteren kann die Hemmung des Mikroskopenträgers gegen die genannten Theile $RRRR_1r$ bewirkt werden, ohne die freie Bewegung der Rotationsachse nebst Zubehör zu stören. Durch die Mikrometerschraube f_1 mit der gegenüberliegenden Spiralfeder kann die feine Ein-

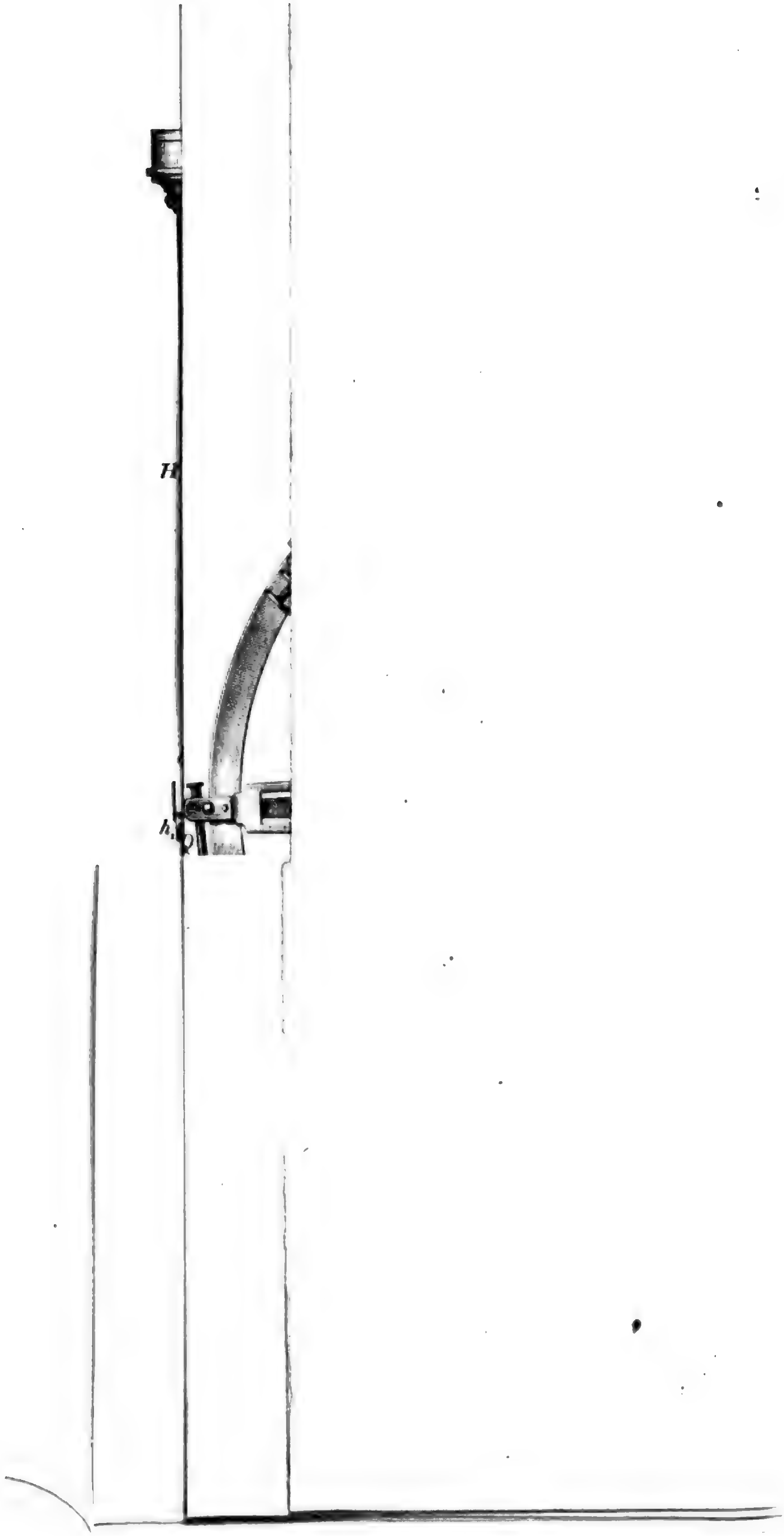
stellung des Mikroskopenträgers hervorgebracht werden. Bei Beobachtungen der Gestirne dient das genannte Mikrometerwerk aber nur zur richtigen Einstellung der Versicherungslibelle *O*.

§. 158.

1. Die Einstellung des Instrumentes geschieht durch die auf die beiden Zapfen der Horizontalachse gesetzte Röhrenlibelle *S*, die nur in Fig. 87. als sichtbar sich darstellt. Sie ist dann in der richtigen Stellung, wenn die in der Unterfläche des einen Fufses befestigten kleinen Cylinder beinahe die Oberfläche des betreffenden Zapfenlagers berühren. Beim Umdrehen des Fernrohrs wird sie vor dem Herunterfallen gesichert durch einen kleinen prismatischen Ansatz, der an der Innenfläche jedes Fufses angebracht ist und sich gegen 2 Platten *ss* legt, die an beiden Seiten der Rotationsachse an den Achsenlagern angebracht sind, um ein kleines eingeschraubtes Stiftchen sich drehen lafsen und durch vorgesteckte Stifte $s_1 s_1$ gehalten werden.

2. Die bedeutende Last, welche das Fernrohr nebst Zubehör auf die Unterlage ausübt und durch welche mit der Zeit die Gestalt der stählernen Zapfen der Rotationsachse sich nothwendig ändern würde, wird durch die Balancierung *T* gehoben, deren genaue Einrichtung im §. 93. beschrieben ist und wovon in Fig. 69. auch ein Durchschnitt der einen Stütze derselben dargestellt ist.

Zugleich dient diese Vorrichtung aber auch zu einer eben so sicheren, als bequemen Umlegung des Obertheils des Durchgangsinstruments in seinen Achsenlagern. Zu dieser Operation wird nicht nur die Libelle *S* abgenommen und die Druckschraube *p* (Fig. 87.) gelöst, sondern es werden auch die vier an den Stützen *FF* sitzenden Mikrometerschrauben ff_1 zurückgeschraubt und die gegenüberliegenden Muttern $f_2 f_3$ soweit als möglich angezogen, um den Hemmungsarmen den nöthigen Spielraum zu geben, sowie das Fernrohr ungefähr in eine verticale Lage gebracht. Darauf wird die Schraube *t* so weit angezogen, bis die Zapfen mit ihrer Unterfläche einige Linien über die Oberfläche der Achsenlager getreten sind, wobei die in 1. erwähnten Platten *ss* in der in Fig. 87. dargestellten Stellung die seitliche Ausweichung des auf den Frictionsrollen ruhenden und von den Spiralfedern getragenen, sich hebenden Apparats verhindern. Nachdem nun die Stifte $s_1 s_1$ entfernt und die Platten *ss* niedergeklappt sind, wird der Apparat vorsichtig im Horizonte herumgeführt, bis die Zapfen der Achsen senkrecht über ihren Lagern liegen. Dann werden die Platten wieder vorgelegt und die Schraube *t* allmälig gelüftet, wodurch die Zapfen sich in ihre Lager einsenken; während des Lösens der Schraube aber ist darauf sorgfältig zu achten, dafs die Hemmungsarme in den von den Enden der Mikrometerschrauben und den Knöpfen der Spiralfedern gelafsenen Zwischenraum treten. Das Zurückschrauben der Schraube *t* erfolgt so lange, bis die aus den Stützen der Balancierung seitlich hervortretenden kleinen Schräubchen $t_1 t_1$ in der Mitte ihrer Einschnitte stehen. Alsdann sind die Zapfen


H

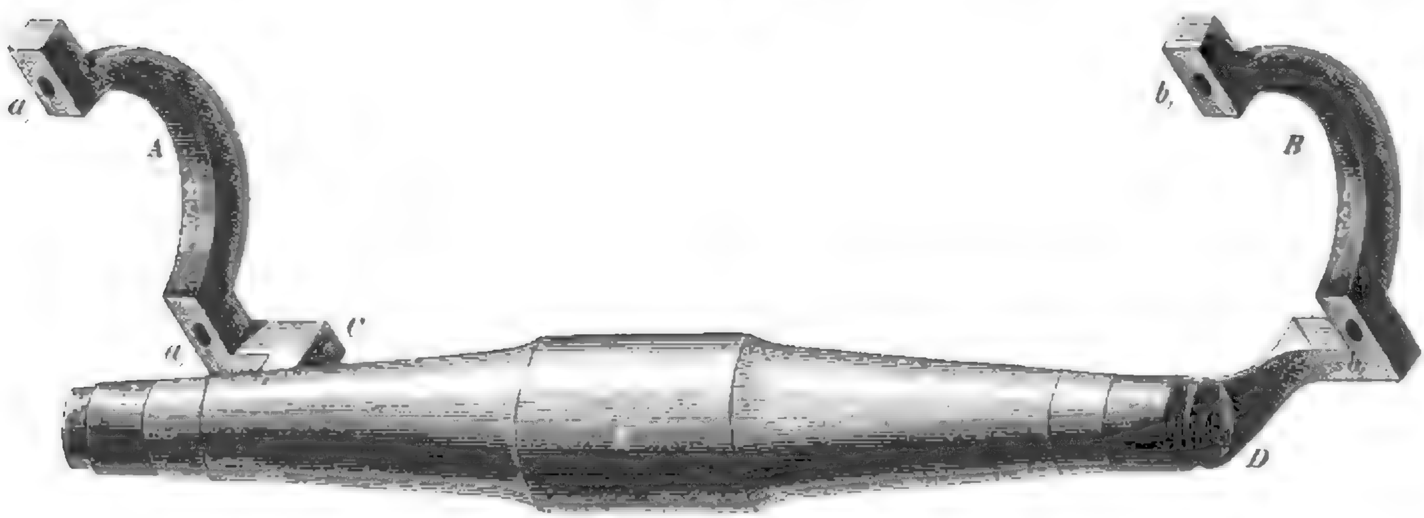
der Rotationsachse mit den convexen Flächen der Lager zur Berührung gelangt. Schliefslich löst man noch die vorhin erwähnten Muttern und zieht die Mikrometerschrauben so weit an, bis die Arme der Hemmungen die erforderliche feste Lage und Spannung erhalten haben.

§. 159.

Das Durchgangsinstrument ruht auf einem soliden, 5 bis 6 Fufs in die Erde versenkten Mauerwerk, auf welchem ein Unten und Oben mit quadratischen Platten versehener Pfeiler *U* von Sandstein, isoliert von dem Fufsboden des Beobachtungsorts sich erhebt. Die Seite der oberen Deckplatte *D* beträgt 21 Zoll, deren Oberfläche fast 3 Fufs über dem Fufsboden liegt. Die Aufstellung des Instruments darf daher wohl eine sehr solide genannt werden.

Zum Transport des Instruments dienen 2 Kasten, von denen der eine den Untersatz, die Säule nebst Zubehör, der andere aber den Obertheil aufnimmt. Letzterer ruht im Kasten auf 2 hinreichend starken Bügeln *A* und *B* (Fig. 89.),

Fig. 89.



in deren cylindrisch geformten Innenflächen *a* und *b* die an die beiden Kreise *L* und *K* (Fig. 87.) gränzenden Flächen der Umdrehungsachse liegen und durch Bolzen mit Schrauben, welche durch die Löcher $a_1 a_1 b_1 b_1$ treten, fest gehalten werden. Die Bügel sind durch die Flügel *C* und *D* mit der Handhabe *E* seitlich verbunden. Wie man nun den Obertheil des Apparats aus dem Kasten zu heben und mit seiner Unterlage zu verbinden, als auch zum weiteren Transporte aus letzterer auszuheben und in dem Kasten zu befestigen hat, ergiebt sich aus dem Vorstehenden sehr leicht.

Hülfsapparate zum Durchgangs-Instrument.

I. Die Collimatoren.

§. 160.

Bei den kleineren Winkelmeſsern dienen wohl zwei mit ihren Objectiven einander zugewendete Fernröhre dazu, die Abweichung des Winkels, den die Collimationslinie des Fernrohrs (§. 37.) des Winkelmeſsers mit der Umdrehungsachse des Fernrohrs bildet, von einem Rechten zu bestimmen, oder nur zu erkennen, um die gefundene Abweichung zur Hälfte an dem Fadenkreuz des Fernrohrs möglichst zu berichtigen. In diesem Falle werden die angewendeten Fernröhre **Hülfsfernröhre** genannt, die gefundene Abweichung vom Rechten aber mit dem Namen **Collimationsfehler** *) belegt. Die **Collimatoren**, von denen der eine in Fig. 90. im Drittel der natürlichen Gröſse dargestellt ist, haben dagegen den Zweck, bei dem im Vorhergehenden beschriebenen Durchgangsinstrumente die Gröſse des Collimationsfehlers, der nach der möglichsten Berichtigung an dem Fadenkreuz doch noch übrig geblieben ist, mit Schärfe im Bogenmaſs zu bestimmen, um den Werth deſselben bei den Gestirnsbeobachtungen in Rechnung bringen zu können. Zu diesem Zwecke ist das Ocular derselben mit einem durch eine Mikrometerschraube beweglichen Fadenkreuz versehen und die Gröſse der Drehung an einer eingetheilten Trommel abzulesen. Auſserdem gestatten die Collimatoren, bei gehörig fester Aufstellung, auch die genaue Bestimmung der **Durchbiegung des Fernrohrs** und können endlich auch als Meridianzeichen benutzt werden, wenn wegen der Umgebungen eines Beobachtungsorts die Aufstellung solcher Marken in der nöthigen Entfernung unzuläſsig ist.

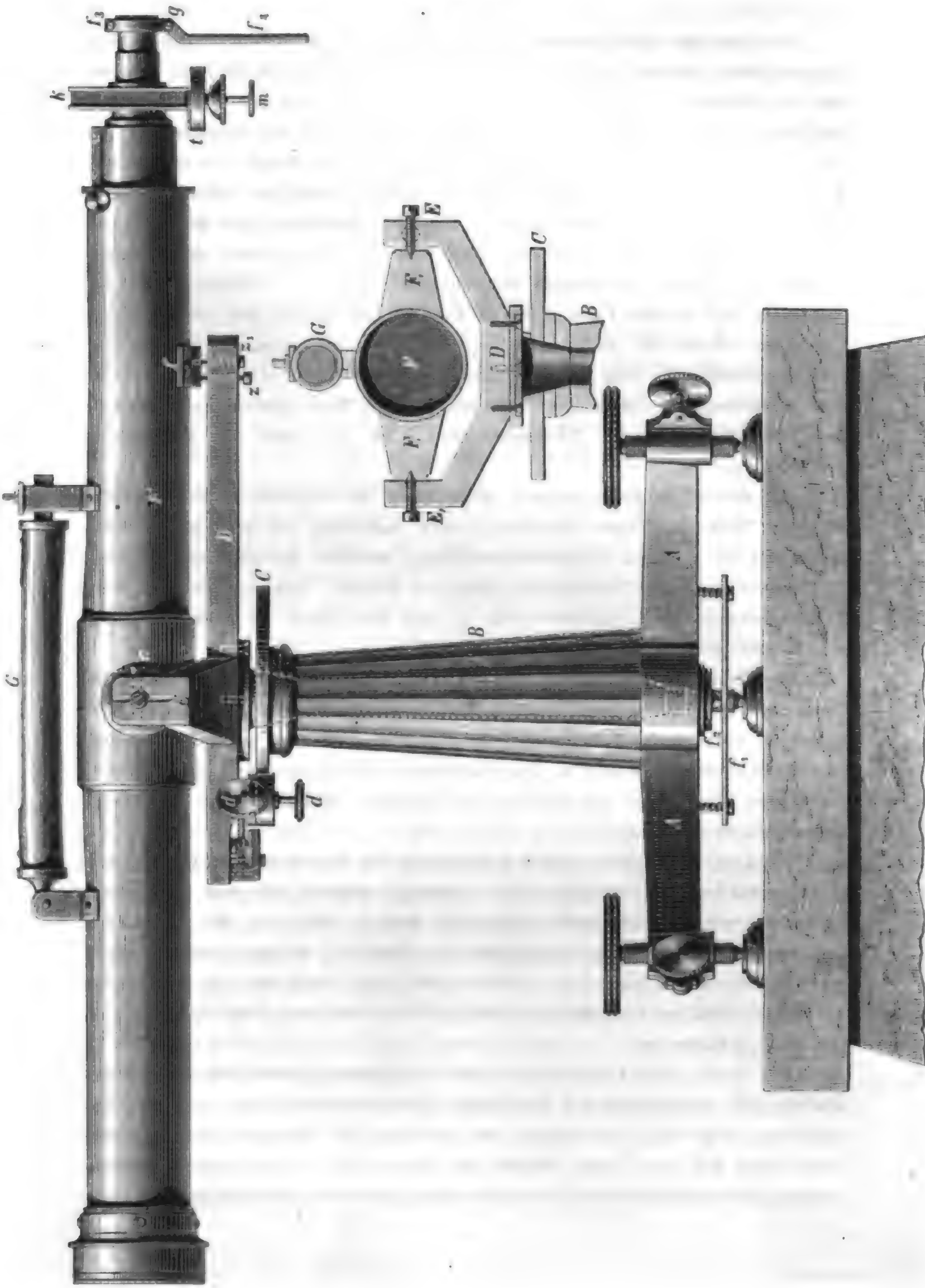
§. 161.

Die Unterlage des Collimators bildet ein Dreifuſs *AA*, mit welchem, wie in den Fig. 87. und 88., eine Säule *B* nebst Echinus und Platte in Verbindung steht, welche letztere eine gröſsere cylindrische Scheibe *C* trägt. Zur Aufnahme einer Verticalachse sind auch hier die genannten Stücke durchbohrt. Mittelst einer Flansche steht die Achse mit der Trägerplatte *D* des Fernrohrs in Verbindung; durch versenkte Schrauben sind beide Stücke zu einem festen Ganzen vereinigt,

---

*) Mit diesem Namen wird jetzt nur der hier in Rede stehende Fehler bezeichnet; bei der Meſsung der Verticalwinkel aber wird die Abweichung des Index des Verniers vom Nullpunkte der Theilung des Höhenkreises, wenn das Fernrohr in horizontaler oder verticaler Lage gedacht wird, oder bei Spiegelinstrumenten, wenn bei der Beobachtung eines Objects die beiden Bilder deſselben coincidieren, die beiden Spiegel also in paralleler Lage sich befinden, mit dem Namen des **Indexfehlers** des Apparats, früher aber auch Collimationsfehler genannt, belegt. Das Wort Collimationsfehler ist vom Lateinischen collineare, etwas in gerader Linie richten, zielen, abzuleiten, woraus durch unrichtige Lesart collimare gebildet ist.

Fig. 90.



so dafs hieraus die grobe Horizontalbewegung des Hauptheils des Collimators sich ergiebt.

Der über der Säule liegende Theil der Trägerplatte erweitert sich seitlich in zwei schief aufwärts laufende Stücke, die in senkrechten Stützen EE_1 endigen, wie die seitwärts stehende Durchschnittsfigur zeigt. Zwischen denselben sind zwischen Schraubenspitzen die von der verdickten Mitte des Objectivrohrs des Fernrohrs F ausgehenden abgestumpften Kegel F_1F_1 befestigt. Die eine Stütze E ist zur Beseitigung des etwa eintretenden todten Ganges der Schraube aufgeschlitzt und mit einer Klemmschraube e versehen. Aufserdem ruht das Fernrohr in einem Sattel f, welcher über dem einen Ende der Trägerplatte sich befindet. Durch eine daselbst angebrachte Stellschraube z kann der Collimationslinie des Fernrohrs eine normale Lage gegen die Verticalachse ertheilt und, nach erfolgter Correction, durch die Zugschraube z_1 das Fernrohr gegen die Trägerplatte befestigt werden. An dem anderen Ende derselben befindet sich, mit der Scheibe C in Verbindung, das Mikrometerwerk für die feine Horizontalbewegung, nämlich die Halterplatte mit der Klemmschraube d (§. 97.) und die Mikrometerschraube d_1.

Auf dem Fernrohr ist mittelst zweier Sättel die empfindliche Röhrenlibelle, an deren Scale 10 Theile (Millimeter) einen Ausschlag von nahe 10 Sekunden geben, mit der nöthigen Correctionsvorrichtung versehen, befestigt, um sie ebenfalls normal gegen die Verticalachse stellen zu können. Letztere ruht, wie beim Durchgangsinstrument, auf einer Feder f_1 und kann durch die Mutter f_2 gegen den Dreifufs festgestellt werden.

Das Fernrohr von 27 Zoll Brennweite und 27 Linien Oeffnung seines Objectivs, hat wegen der mikrometrischen Mefsung ein Ramsden'sches Ocular (§. 49.); in seinem Brennpunkte befindet sich der Fadenkreuzkasten k mit der Trommel t und der Mikrometerschraube m. Das Fadenkreuz besteht aus zwei normal stehenden Fäden (Fig. 20. a) und läfst sich in verticaler Richtung durch die Mikrometerschraube bewegen.

Um auch bei weniger starker Beleuchtung von dem Ocular des Durchgangsinstrumentes aus das Fadenkreuz des Collimators deutlich erkennen zu können, ist auf das vordere Ende seines Oculars ein Ring f_3 aufgesetzt, der nach Unten in einen mit straffem Papier ausgespannten Rahmen f_4 ausläuft, welcher durch ein bei g liegendes Charnier so gedreht werden kann, dafs das von dem Papier zerstreute Licht das Fadenkreuz gehörig erhellet, aber auch, wie in der Figur, zurück zu schlagen ist.

Der zweite, dem beschriebenen sonst vollkommen gleiche Collimator unterscheidet sich nur dadurch von dem obigen, dafs sein Fadenkreuz aus einem Andreaskreuz (Fig. 20. c) besteht und sein Kasten mit der Mikrometerschraube eine solche Lage hat, dafs durch letztere das Kreuz sich in horizontaler Richtung bewegen läfst und defshalb auch zur Bestimmung der Gröfse des Collimationsfehlers

des Durchgangsinstruments angewendet werden kann. Sechs Umdrehungen der zugehörigen Trommel + 5 Theilen derselben, also 365 Trommeltheilen entsprechen dem Abstande der 7 senkrechten Fäden des Fadennetzes des Durchgangsinstruments; da nun, wie im §. 187. gezeigt wird, die Fädendistanzen für den Aequator betragen

	I—IV	$25^s, 1$
	IV—VII	$26, 2$
also	I—VII	$51, 3,$

so entspricht 1 Trommeltheil $0^s, 1406$.

Die Collimatoren ruhen, wie das Durchgangsinstrument, auf isolierten Steinpfeilern auf Mauerwerk von einer solchen Höhe (fast 4 Fufs), dafs bei horizontaler Lage ihrer Fernröhre auch das Fernrohr des Durchgangsinstruments in horizontaler Lage ihren Objectiven zugekehrt ist. Sie sind ebenfalls von Meyerstein in Göttingen verfertigt.

Der Collimator, an welchem der Collimationsfehler zu bestimmen ist, soll in der Folge, da er auf dem südlich gelegenen Pfeiler ruht, der südliche, der andere der nördliche genannt werden.

Nach einer anderen Construction ist das Objectivrohr des Fernrohrs der Collimatoren an beiden Enden mit genau gleich starken Ringen von Kanonenmetall versehen, mit welchen dafselbe in den *y*förmigen Lagern der Träger liegt. Durch diese Einrichtung kann daher leicht die Collimationslinie mit der geometrischen Achse zur Coincidenz gebracht werden, wozu selbstverständlich die nöthigen Correctionsvorrichtungen angebracht sind. Auf die Ringe des Rohrs wird eine hinreichend empfindliche Röhrenlibelle gestellt.

2. Das Barometer *).

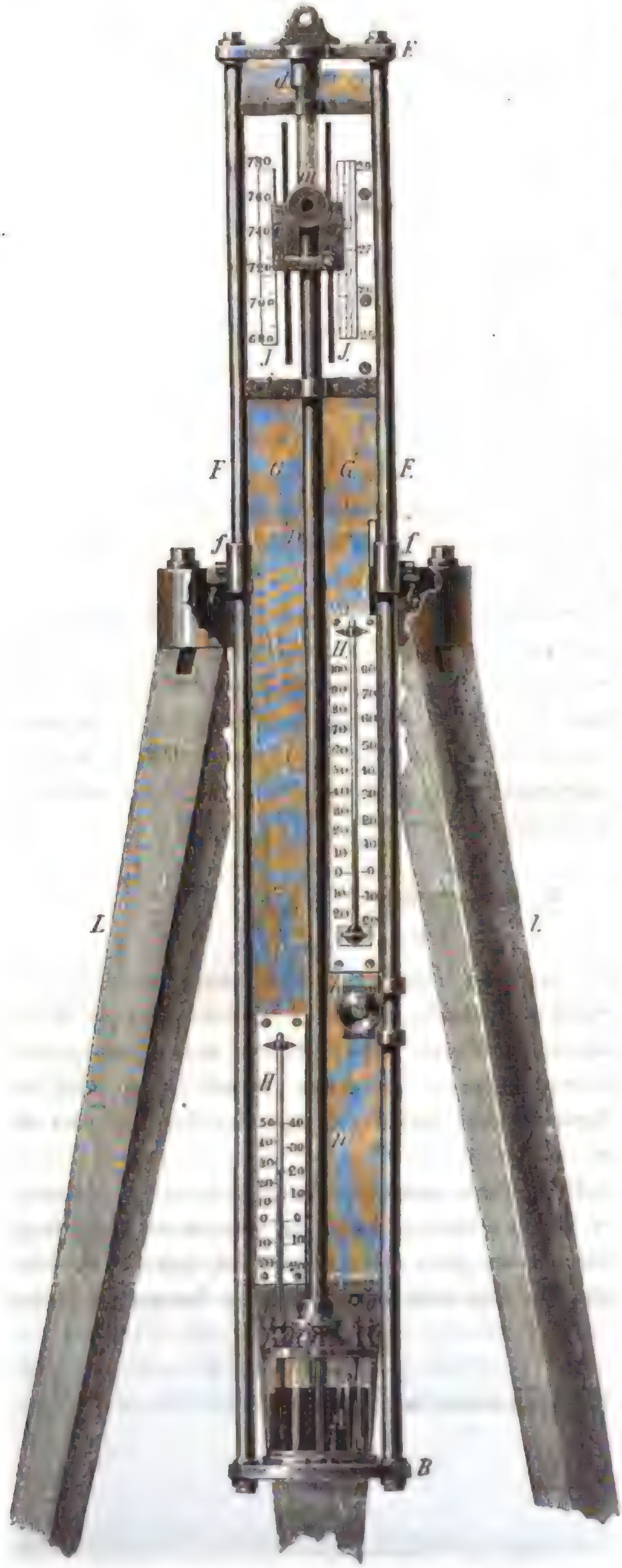
§. 162.

Das Barometer soll hier nur dazu dienen, die zur Berechnung der Refraction des Lichts nöthigen Data zu liefern, deren man bei der Bestimmung der Höhen der Gestirne und terrestrischen Gegenstände nicht entbehren kann. Dazu gehören aber, wie schon im §. 142. erwähnt wurde, die genaue Angabe der zur Zeit der Mefsung Statt findenden Barometerhöhe und der Temperatur der Luft und des Quecksilbers im Barometer.

Das in Fig. 91. in ein Fünftel der natürlichen Gröfse dargestellte Barometer ist ein Gefäfsbarometer. Seine Unterlage bildet ein hinreichend festes Holzstativ, in dessen durchbohrtem Kopfe es so aufgehangen wird, dafs es von selbst eine verticale Lage annimmt, wie man auch die mit eisernen Spitzen versehenen Füfse stellen mag.

*) Von βάρος, Schwere, Druck und μέτρον, Mafs.

Fig. 91.



Das Gefäfs für das Quecksilber bildet ein prismatisches Glas *A* von etwa 3 Zoll Höhe und einem eben solchen Durchmefser. Dafselbe ruht auf einer cylindrischen Mefsingscheibe *B* und wird von einem Messingdeckel *C* geschlossen, der aber auf seiner Innenfläche mit einem so starken Lack überzogen ist, dafs bei kleineren Transporten das mit dem Deckel in Berührung gekommene Quecksilber nicht verunreinigt werden kann. Zu befserer Haltbarkeit sind Boden und Deckel des Glases noch durch vier dünne Metallpfeiler mit einander verbunden. Der Deckel erweitert sich nach Oben in verschieden geformte Umdrehungskörper, deren oberer aus Holz besteht. In letzterem ist die im Lichten einen Decimeter im Durchmefser haltende Glasröhre *D D* luftdicht eingekittet, welche Unten mit ihrem offenen Ende in das Quecksilber taucht und an dem oberen Ende von einer Mefsingfafsung *d* umgeben wird, die von der Deckplatte *E*

ausläuft. Beide Platten E und B werden durch eiserne Cylinder FF_1 vereinigt und durch auf- und untergeschraubte Muttern gegen einander fest gestellt. Ehe aber diese Verbindung erfolgt, werden an beide Seiten der Glasröhre Holzplatten GG_1 gelegt, die an ihren Längsseiten halbcylindrisch ausgebohrt sind. Die innere Ausbohrung legt sich an die Glasröhre, in die andere aber jeder der eisernen Cylinder. Die links liegende Holzplatte G hat eine feste Lage, während die andere G_1 eine Bewegung in verticaler Richtung gestattet. Erstere enthält an ihrem unteren Ende die versilberte Mefsingplatte H mit dem zur Bestimmung der Temperatur des Quecksilbers nöthigen Thermometer, dessen Röhre durch eine in dem Deckel C befestigte Stopfbüchse c in das Quecksilber des Glases A tritt. Die zweite Holzplatte trägt an ihrem unteren Ende an einer Fafsung einen, durch eine ebenfalls in dem Deckel befestigte zweite Stopfbüchse c_1 luftdicht hindurchtretenden eisernen Stift c_2, dessen untere Spitze den Anfangspunkt der Barometerscale bezeichnet. Vor jeder Ablesung des Barometerstandes mufs defshalb die Spitze des Stifts mit der Quecksilberoberfläche vollkommen genau zur Berührung gebracht werden können. Man erkennt diese Coincidenz an der Berührung der Spitze mit ihrem von der Quecksilberoberfläche erzeugten reflectierten Bilde. In ihrer Mitte etwa enthält die Holzplatte G_1 eine zweite ebenfalls versilberte Mefsingplatte H_1 mit dem Thermometer zur Bestimmung der Lufttemperatur. Beide Thermometer sind nach der Réaumur'schen- und Centesimalscale getheilt.

An ihrem oberen Ende ist die aus zwei Hälften JJ_1 bestehende, gleichfalls versilberte mefsingene Scalenplatte so angebracht, dafs J_1 auf G_1 durch Schrauben befestigt, J wieder mit J_1 mittelst zweier Platten ii_1 zu einem Ganzen verbunden ist, ohne mit der Holzplatte G aber zur Berührung zu kommen. K stellt den Kopf eines unter G_1 liegenden Getriebes mit Zahnstange vor, wodurch G_1 sammt den beiden Scalenplatten, von denen die eine das Pariser Fufsmafs, die andere das Metermafs enthält, und dem Stift c_2 in verticaler Richtung so bewegt werden kann, dafs der Anfangspunkt der Scale stets auf der Quecksilberoberfläche beginnt.

Zur weiteren Eintheilung der unmittelbaren Theilung dienen zwei Verniers vv_1, welche auf einem durch den Getriebkopf g verstellbaren Rahmen befestigt sind. Aufserdem trägt dieser Rahmen ein Mikroskop m, dessen Horizontalfaden vor der Ablesung mit der Quecksilberoberfläche in der Röhre D zur Berührung gebracht wird. Der Vernier v_1 giebt 0,02 Linien, v aber 0,1 Millimeter an, indem auf dem ersteren 26 halbe Linien in 25, und auf dem letzteren 11 Millimeter in 10 gleiche Theile getheilt sind. (Vgl. §. 64.)

Zu der festen Aufstellung und senkrechten Aufhängung des Barometers sind an den Stäben FF_1 zwei Hülsen mit Zapfen befestigt, welche in die cylindrischen Achsenlager eines Ringes ll_1 gelegt werden, der wieder durch zwei andere Zapfen, welche gegen die ersteren eine normale Lage haben, in der Oberfläche des Kopfes des Stativs LL seine Ruhepunkte hat, so dafs bei jeder Stellung des

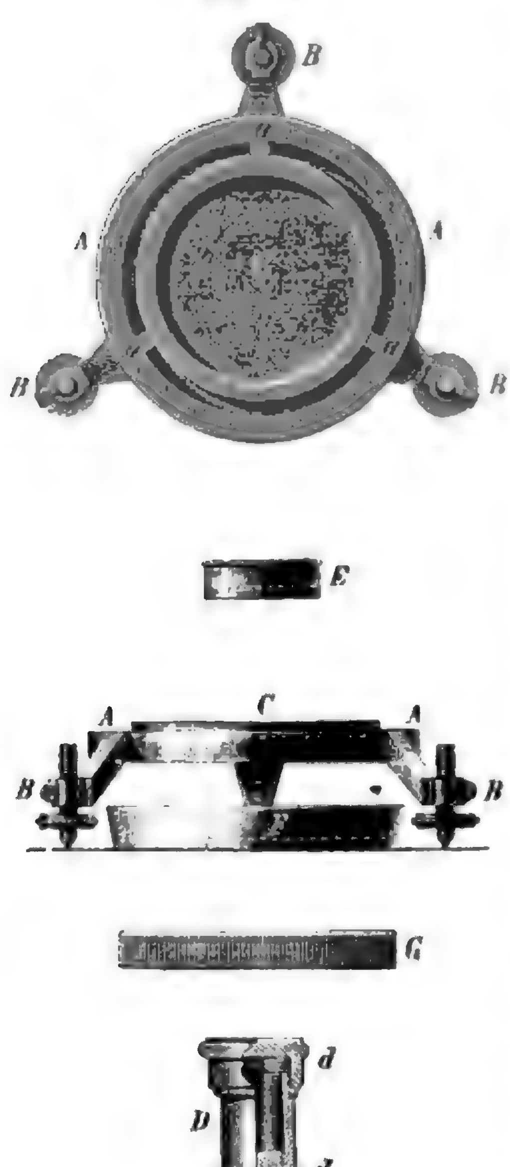
Stativs das von dem beweglichen Ringe getragene Barometer nach einigen Oscillationen von selbst eine verticale Lage einnehmen wird. Der beschriebene Apparat ist von dem hiesigen Mechaniker Klindworth angefertigt.

3. Der Quecksilber-Horizont.

§. 163.

Obgleich der Quecksilber-Horizont, so wie auch jeder andere künstliche Horizont, bei der Bestimmung des Collimationsfehlers des Fernrohrs und auch des Indexfehlers eines Höhenkreises angewandt werden kann, auch bei dem Gebrauch der Spiegelwerkzeuge für Höhenbestimmungen ein nothwendiger Hülfsapparat ist: so dient er doch hier nur zur möglichst scharfen Bestimmung des Nadirpunktes am Höhenkreise des oben beschriebenen Durchgangsinstruments. Fig. 92. giebt den Grund- und Aufrifs eines von Meyerstein in Göttingen construierten im Viertel der natürlichen Gröfse dargestellten Quecksilber-Horizonts.

Fig. 92.



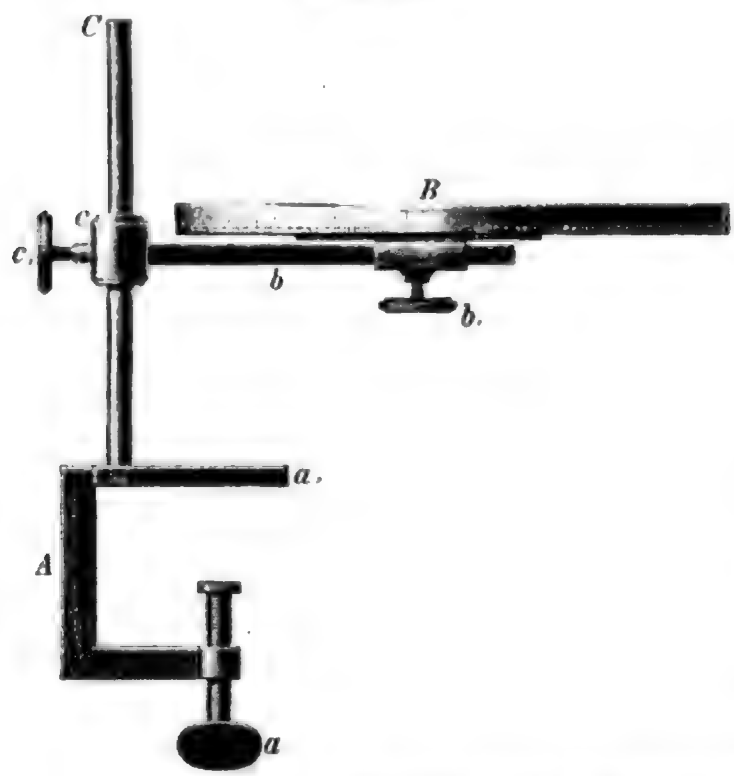
A A bezeichnet einen cylindrischen Ring, mit welchem die 3 Arme eines Dreifufses mit ihren Stellschrauben *B B B* ein Ganzes bilden. Auf drei kleine Ansätze *a a a* des Ringes legt sich der Rand einer etwas concav ausgedrehten Kupferschale, auf welche das zur Reflexion des Lichts dienende Quecksilberamalgam aus der aus Buchsbaumholz verfertigten Büchse *D* gegofsen wird. Zu diesem Zwecke schraubt man zunächst den Deckel *d* derselben ab, hält den Finger vor die Oeffnung des dadurch frei gewordenen kleinen Konus, welche mit dem Inneren der Büchse communiciert, wendet die Büchse um und entfernt auch die Bodenplatte d_1, so wird nach dem Wegziehen des Fingers das Amalgam auf die Kupferplatte getröpfelt werden können. Ehe diefs aber geschieht, mufs letztere mittelst der kleinen Dosenlibelle *E* horizontal gestellt und ihre Oberfläche mit einer Auflösung von salpetersaurem Quecksilber angequickt, auch das Amalgam durch einen kleinen Papiertrichter mit sehr feiner Oeffnung gegofsen werden, wodurch das sich etwa gebildete Quecksilberoxyd an dem Papier haften bleibt. Vor dem

Auftröpfeln setzt man noch unter die Kupferplatte den hölzernen Teller *F* und streicht mittelst des Elfenbeinlineals *G* auf der Platte entlang, wodurch das überschüfsige Quecksilberamalgam in dem Teller aufgefangen wird. Das anzuwendende Verfahren, um nach der ausgeführten Beobachtung das Amalgam wieder in die Büchse zu füllen, ergiebt sich aus dem Vorhergehenden sehr leicht.

§. 164.

Zur Bestimmung des Nadir- oder Zenithpunktes am Durchgangsinstrumente bedarf der anzuwendende künstliche Horizont noch einer Unterlage, die in Fig. 93. im Viertel der natürlichen Gröfse dargestellt ist. Sie besteht aus einer eisernen Zwinge *A*, mit welcher ein hölzerner Teller *B* so in Verbindung steht, dafs der darauf gesetzte, im vorigen Paragraphen beschriebene Quecksilberhorizont bequem unter das Objectiv des vertical gestellten Fernrohrs des Durchgangsinstruments gebracht werden kann. Mit der Schraube *a* wird die Zwinge an der Pfeilerplatte *D* (Fig. 87.) befestigt, indem der Arm a_1 auf *D* zu liegen kommt.

Fig. 93.



An der auf dem letzteren Arme stehenden Säule *C* läfst sich die Metallhülse *c*, und daher auch der Teller *B*, welcher an einer Hülse auf dem von *c* ausgehenden Arme noch eine seitliche Verschiebung gestattet, auf- und niederschieben, der Quecksilberhorizont sich daher mit Bequemlichkeit unter das Objectiv des Fernrohrs bringen. Die Schrauben b_1 und c_1 dienen zum Feststellen der zugehörigen Hülsen.

4. Das Ocular zur Bestimmung des Zenithpunktes oder des Collimationsfehlers.

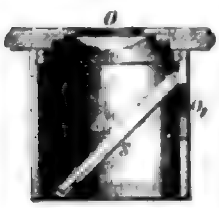
§. 165.

Zur Bestimmung, sowohl des Zenith- (oder Nadir-) Punktes des Verticalkreises, als des Collimationsfehlers des Fernrohrs des Durchgangsinstruments ist es unter Anwendung eines künstlichen Horizonts nothwendig, um das von der spiegelnden Fläche erzeugte Bild des Fadenkreuzes zu sehen, dafs letzteres erleuchtet werde. Diefs geschieht einfach dadurch, dafs man in der Ocularröhre

15

hinter der Ocularlinse eine um 45 Grad gegen die Fernrohrachse geneigte spiegelnde Fläche, die aber nur aus reinem Spiegelglase ohne Folie besteht, und ihr gegenüber in der Seitenfläche der Ocularröhre eine runde Oeffnung von etwa 2 bis 3 Linien Durchmefser anbringt. Da aber zur Erlangung eines gleichmäfsig erleuchteten Gesichtsfeldes, nach den Bestimmungen von Gaufs, das Collectivglas des Oculars entfernt werden mufs, so dient zu diesem Zwecke ein eigens construiertes Ocular, welches in Fig. 94. in natürlicher Gröfse im Durchschnitt dargestellt ist und an die Stelle des Ramsdenschen Oculars (p. 60. Fig. 32. *a*) gebracht wird. *s* bezeichnet den eingekitteten Rahmen für das Spiegelglas s_1, *o* das Ocularglas und o_1 die runde Oeffnung in der Röhre.

Fig. 94.



5. Apparate zur Beleuchtung und zur Abhaltung der Sonnenstrahlen.

§. 166.

1. Die Beleuchtung des Fadenkreuzes oder des Zifferblattes der astronomischen Pendeluhr geschieht durch Blendlaternen mit einer festen, aber verstellbaren Unterlage; zum Ablesen der Theilungen dienen meistens Handlaternen.

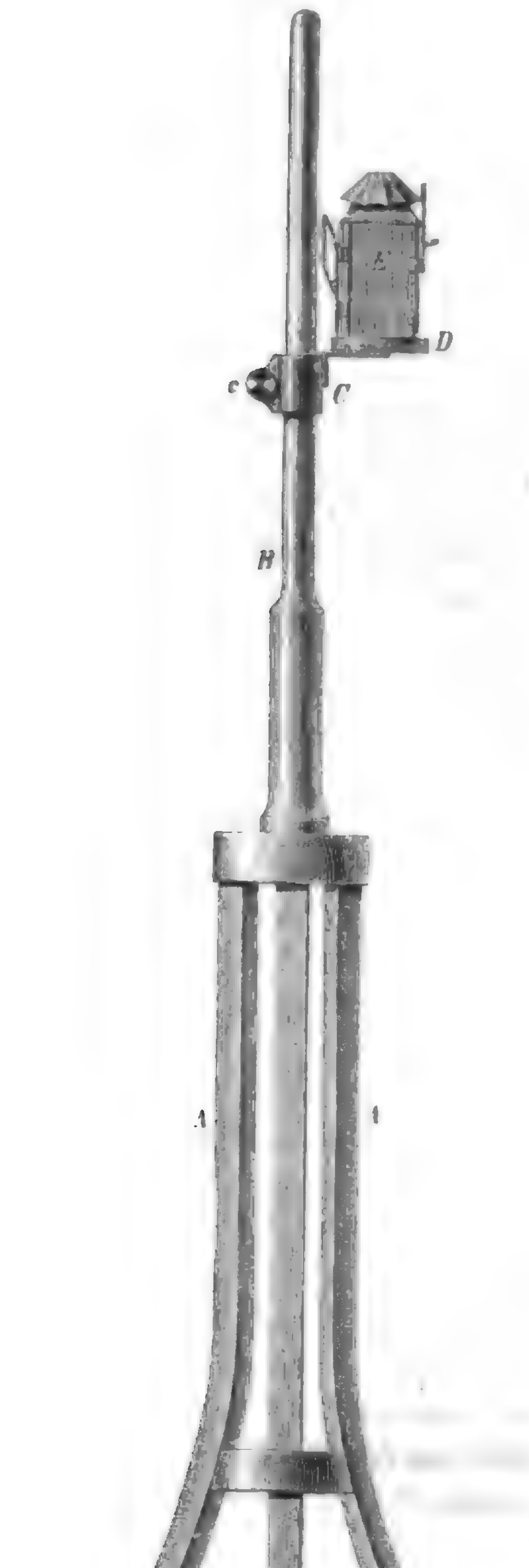
Im ersteren Falle wendet man ein Holzstativ mit unten ausgeschweiften, aber mit einander verbundenen Füfsen *AA* in Fig. 95. an, welche das Stativ nebst der Laterne im ein Zehntel der natürlichen Gröfse giebt. Auf dem Kopfe des Stativs erhebt sich eine Säule *B*, an welcher eine mit einer Klemmschraube *c* versehene Hülse *C* auf- und niederbewegt und durch die Klemmschraube festgestellt werden kann. Ein an der Hülse befestigter Arm trägt einen hölzernen Teller *D* zur Aufnahme der Laterne *E*.

Das Stativ hat eine solche Höhe, dafs bei der Bestimmung des Nadirpunktes, bei welcher das Ocular des Fernrohrs des Durchgangsinstruments Oben zu stehen kommt, die spiegelnde Fläche des im vorigen Paragraphen beschriebenen Oculars noch durch die Laterne beleuchtet werden kann.

2. Für nächtliche Beobachtungen geschieht die Beleuchtung des Zifferblatts der Pendeluhr ebenfalls durch eine auf einer Unterlage stehende Laterne, der man durch Plattencharniere, welche sich an einer in der Wand befestigten Säule höher und niedriger stellen lafsen, die zum deutlichen Erkennen des Sekundenzeigers erforderliche Lage geben kann.

3. Bei der Beobachtung der Sonne müfsen, aufser vom Objectiv des Fernrohrs, die Sonnenstrahlen von allen Theilen des Beobachtungsinstruments sorgfältig abgehalten werden. Dazu dient ein rahmenförmiges, etwa 7 bis 8 Fufs hohes und 2¾ Fufs breites Gestelle, in welchem sich eine in einen Blechrahmen eingespannte straffe Leinwand von etwa 3 Fufs Höhe auf die erforderliche Höhe stellen und durch untergesteckte Stifte, die in Löcher des Rahmens treten, befestigen läfst. Die den Sonnenstrahlen zugekehrte Seite des Schirms ist mit Stanniol überzogen, die entgegengesetzte Seite hat einen schwarzen Anstrich.

Fig. 95.



6. Die astronomischen Uhren.

§. 167.

Abgesehen von der eigenen Bewegung der zu unserem Sonnensystem gehörigen Planeten und Kometen, sind wegen der Achsendrehung unserer Erde alle Gestirne einer fortwährenden Ortsveränderung unterworfen. Deſshalb ist für astronomische Beobachtungen die Bestimmung der, der Beobachtung entsprechenden Zeit durch Uhren das erste und wichtigste Element; es ist daher die Uhr in der Hand des beobachtenden Astronomen eigentlich nichts weiter als ein Winkelinstrument und insofern kaum den Hülfsapparaten zuzuzählen.

Zu den astronomischen Beobachtungen werden Uhren zweierlei Art angewandt. Die eine fordert eine verticale und feste Aufstellung derselben auf einer soliden Unterlage an dem Beobachtungsorte. Bei ihnen findet sich ein Pendel, dessen gleichförmige Schwingungen den beständigen Gang der Uhr oder die gleichmäſsige Umdrehung ihrer Zeiger bedingen. Da aber durch den Luft-, Reibungs- und Biegungswiderstand das Pendel nach kürzerer oder längerer Zeit in Ruhe kommen würde, so ist in dem Uhrwerke noch ein Gewicht angebracht, durch dessen Bestreben, zu sinken, die Bewegung des Räderwerks und der Zeiger hervorgebracht wird. Hierdurch wird dem Pendel bei jeder neuen Schwingung ein kleiner, sich immer gleichbleibender Impuls ertheilt, wodurch die erwähnten Widerstände gehoben werden. Weil aber das Gewicht, allein den Gesetzen der Schwere folgend, mit beschleunigter Bewegung sinken müſste, die Uhr also hierdurch ebenfalls

bald still stehen würde, so soll die gleichförmige Fortdauer der Schwingungen des Pendels durch den beständigen Druck des Gewichts, das gleichförmige Sinken des letzteren aber wieder durch das Pendel bewirkt werden. Es erscheint daher das Gewicht als die Triebkraft der Uhr, das Pendel aber als der Regulator der Triebkraft. Eine so construierte Uhr heifst eine Gewichts- oder Pendeluhr. Die Vorrichtung, durch welche beide genannte Kräfte mit einander verbunden werden und die eine verschiedene Einrichtung haben kann, wird die Hemmung oder das Echappement der Uhr genannt.

Da aber verschiedene Wärme- und Kältegrade auf alle Körper, besonders aber auf die Metalle, theils ausdehnend, theils zusammenziehend wirken, so werden die Veränderungen sich namentlich bei der Länge des Pendels und dadurch wieder bei der Schwingungsdauer und dem Gange der Uhr äufsern. Bei den astronomischen Uhren, an welche die höchsten Forderungen gestellt werden müfsen, mufs deshalb der erwähnte Einflufs ausgeglichen werden. Man erreicht diese Ausgleichung am einfachsten durch eine naturgemäfse Anwendung und Verbindung zweier Metalle von verschiedener Ausdehnbarkeit, zu welchen bei den s. g. Rostpendeln Eisen und Zink, bei den Quecksilberpendeln Eisen und ein mit Quecksilber theilweise angefüllter Glascylinder genommen werden. Beide Constructionen sollen bewirken, dafs die Verstellung, welche der Schwingungspunkt des Pendels durch die veränderte Länge der Eisenstangen, an welchen das Pendel hängt, erlitten hat, durch die veränderte Länge der Zinkstangen oder der Quecksilberhöhe in entgegengesetzter Richtung wieder aufgehoben wird, damit der Schwingungspunkt vom Aufhängepunkt dieselbe Entfernung behält. Die so construierten Pendel werden defshalb Compensationspendel und eine damit ausgestattete astronomische Pendeluhr ein Regulator genannt.

§. 168.

Bei den Uhren der zweiten Art ist das Pendel durch ein kleines Schwungrad vertreten, dessen Schwingungen eine haarförmige stählerne Spiralfeder hervorbringt, deren eines Ende mit dem Schwungrade in Verbindung steht, während das andere an der Uhrplatte befestigt ist. Die Triebkraft wird durch die Elasticität einer stärkeren, breiten, spiralförmigen Stahlfeder bewirkt, von der das innere Ende an der Achse der Trommel, das äufsere aber an der inneren Trommelfläche befestigt ist. Da man das Schwungrad mit der Spiralfeder die Unruhe nennt, so führen diese Uhren den Namen Unruh-Feder-Taschenuhren, die keines festen Standes bedürfen.

Die Veränderungen, welche durch die Temperaturverschiedenheiten bei diesen Uhren entstehen, werden aber nicht allein auf die Unruhe, sondern auch auf die Dichtigkeit und die Elasticität, also auch auf den Durchmefser der Stahlfeder einwirken. Die Compensation besteht hier aus zwei kleinen bogenförmigen Platten von Platina und Silber, wobei das sich stärker ausdehnende Silber nach

Aufsen liegt, die mit dem einen Ende an entgegengesetzten Stellen der Unruhe befestigt sind und deren anderes Ende ein kleines, frei zu bewegendes und durch Stellschräubchen verstellbares Gewicht trägt. Bei zunehmender Temperatur werden demnach die Plättchen sich stärker krümmen und defshalb wird das Gewicht der Unruhe sich nähern, durch die dadurch entstehenden kleineren Schwingungen also der verzögerte Gang der Uhr wieder aufgehoben. So construierte Uhren nennt man Chronometer*), welche besonders für den Nautiker bei seinen Ortsbestimmungen von hoher Wichtigkeit sind.

Anmerkung. Eine vollständige und klare Darstellung des Mechanismus der Uhren, die hier übergangen werden mufste, findet man u. a. in Jürgens, die höhere Uhrmacherkunst, 2. Aufl. Copenhagen, 1842, und in Rühlmann, die allgemeine Maschinenlehre, Braunschweig, 1862. Im letzteren Werke trifft der Leser auch eine sehr vollständige Literatur über die Uhren.

§. 169.

Für astronomische Beobachtungen sind sowohl die Regulatoren, als die Chronometer, theils für mittlere Zeit, theils für Sternzeit eingerichtet; die nach mittlerer Zeit gehenden Uhren werden besonders bei Beobachtungen der Sonne, die nach Sternzeit gehenden bei Fixsternbeobachtungen angewandt, nicht nur, weil die Sternzeit sich aus Beobachtungen der Fundamentalsterne leicht ableiten läfst, sondern vorzugsweise, weil eine solche Uhr, wenn sie einen gleichförmigen Gang besitzt, in jedem Momente die Rectascension des culminierenden Fixsterns angiebt.

Die nach Sternzeit gehenden astronomischen Pendeluhren unterscheiden sich von den Regulatoren für mittlere Zeit besonders nur dadurch, dafs die Ziffern ihres Zifferblatts meistens bis XXIV fortgehen und dafs der Anfangspunkt für die Zählung der Sternzeit auf den Zeitpunkt fällt, in welchem der mittlere Frühlingspunkt durch den Meridian des Beobachtungsorts geht. Ist das Zifferblatt nur bis XII beziffert, so müfsen vom 22. Sept. an, allen beobachteten Zeiten an der Uhr noch 12^h zugesetzt werden. Bei beiden Arten der Pendeluhren mufs aber der Schlag der einzelnen Sekunden ein so starker sein, dafs er von der Beobachtungsstelle aus deutlich wahrgenommen werden kann. Selbstverständlich müfsen die Uhren für genau zu erzielende Resultate auf isolierten Steinpfeilern ruhen; aufserdem mufs aber noch das Gehäuse derselben an einer festen Mauer befestigt werden, um sie selbst vor kleinen Erschütterungen zu sichern. Diese Vorsichtsmafsregeln sind bei den beiden Pendeluhren, welche in dem Observatorium der polytechnischen Schule zu Hannover aufgestellt sind, beobachtet. Die eine nach mittlerer Zeit gehende ist von Bréguet in Paris, die Sternuhr von Frerk in Celle verfertigt. Da letztere einen weit stärkeren Schlag hat, als die erstere, so werden die meisten Beobachtungen auf die Sternuhr bezogen und wird dann bei Zeitbe-

---

*) Von χρόνος, Zeit und μέτρον, Mafs.

stimmungen an der Sonne der Gang beider Uhren mit einander verglichen. Beide geben volle Sekunden an.

Aufserdem gehört zu den astronomischen Uhren noch ein Chronometer von Kessels (Nr. 1270), dessen Schläge $^4/_{10}$ Sekunden angeben. Obgleich eigentlich ein Taschenchronometer, liegt die Uhr stets in ihrem Kästchen, das noch von einem zweiten in einem Riemen hängenden und zum Tragen desselben dienenden Kasten umgeben wird, in horizontaler Lage.

§. 170.

Die Zahl von Minuten und Sekunden, um welche eine astronomische Uhr in einem bestimmten Augenblicke von der Stern- oder mittleren Zeit desselben verschieden ist, nennt man den Stand oder Fehler oder die Correction der Uhr; die Zahl von Sekunden aber, um welche eine Uhr in 24 Stunden gegen Stern- oder mittlere Zeit abweicht, den täglichen Gang derselben. Sowohl der Fehler, als der Gang einer Uhr wird additiv genommen, also mit + bezeichnet, wenn in dem ersteren Falle die Uhrangabe zu klein ist und in dem letzteren die Uhr sich verspätet (retardiert). Im entgegengesetzten Falle ist der Fehler oder der Gang subtractiv, und wird daher mit — bezeichnet. Selbstverständlich ist aber beim Stellen einer Uhr stets der Minutenzeiger, nie der Sekundenzeiger zu drehen.

Wie man den Stand und Gang einer Uhr durch astronomische Beobachtungen bestimmen kann, wird später gezeigt.

Wenngleich wohl Regulatoren und Chronometer von absoluter Gleichförmigkeit des Ganges zu den Unmöglichkeiten gehören, so müfsen doch bei guten, zuverläfsigen astronomischen Uhren die Forderungen dahin gestellt werden, dafs ihr gleichförmiger Gang innerhalb 24 Stunden sich höchstens um einen kleinen Bruchtheil einer Sekunde ändert.

Um aber bei einem sonst gut gearbeiteten Uhrwerke einen möglichst gleichförmigen Gang zu erzielen, mufs bei den Pendeluhren das Pendel genau vertical hängen und gleiche Schwingungsbogen auf beiden Seiten der Verticale machen. Zu diesem Zwecke dient ein unter oder hinter dem Pendel angebrachter Gradbogen und eine vor der Pendelstange angebrachte Schraube, durch welche der Abfall sich berichtigen läfst.

Soll eine Pendeluhr rascher oder langsamer gehen, so geschieht die Verstellung der Linse durch eine starke Mutter, auf welcher sie an der Stange ruht und wird durch eine an derselben angebrachte Eintheilung leicht erkannt. Bei Chronometern geschieht diese Veränderung, die aber stets die gröfste Vorsicht fordert, durch Verstellung der im §. 168. erwähnten kleinen Gewichte.

Auferdem ist zu bemerken, dafs die Chronometer stets zu derselben Zeit aufgezogen werden müfsen, um die Verschiedenheiten unschädlich zu machen, welche aus der etwaigen Ungleichheit der Elasticität der Spiralfeder in ihrer ganzen Länge auf den regelmäfsigen Gang derselben entstehen könnten.

Die Fehler des Durchgangs-Instruments und ihre Berichtigung, und der Gebrauch desselben.

§. 171.

Keiner der geometrischen Mefsapparate, wenn er nicht ganz einfacher Art ist, darf als absolut fehlerfrei angesehen werden. Denn die ideale Vollkommenheit in der Verbindung einzelner Theile zu einem Ganzen, in der horizontalen, verticalen und concentrischen Bewegung derselben gegen einander, und in der Eintheilung der Kreisränder, hat vom Verfertiger derselben, selbst bei der Anwendung der vortrefflichsten mechanischen Hülfsmittel, nur mehr oder weniger annähernd erreicht werden können, indem bei ihrer Ausführung mathematische Punkte und Linien immer nur durch physische Punkte und Linien, meistens sogar nur durch physische Körper vertreten werden können, die von der rein geometrischen Form mehr oder weniger abweichen. Die sorgfältige Untersuchung eines geometrischen Mefsapparats in Bezug auf die Gröfse seiner Fehler und die etwaige Wegschaffung derselben durch eigens dazu angebrachte Correctionsvorrichtungen, wird daher das erste Geschäft des praktischen Geometers sein, dem er sich zu unterziehen haben wird, ehe er mit dem Apparate wirkliche Mefsungen oder Beobachtungen ausführt.

Aber auch schon durch den längeren Gebrauch eines Mefsapparats und insbesondere durch den Transport desselben von einem Orte zum andern werden selbst berichtigte Fehler in kleinerem oder gröfserem Mafse aufs Neue wieder hervortreten, so dafs also auch in diesen Fällen nochmalige Prüfungen und etwaige Berichtigungen des Apparats unerläfslich werden.

Es sind aber nicht allein die Methoden zur Untersuchung, sondern auch die Fehler selbst von sehr verschiedener Art, und daher auch ihr Einflufs auf spätere Beobachtungen ein verschiedener. Obgleich die Methoden zur Untersuchung zusammengesetzterer oder einfacherer Art sind, so mufs doch als Princip angenommen werden, dafs insbesondere bei gröfseren Mefsapparaten, oder solchen, mit welchen die möglichste Genauigkeit in den Beobachtungen oder Mefsungen erreicht werden soll, diejenige Methode immer anzuwenden ist, die, wenn auch complicierter, die Gröfse des Fehlers am sichersten erkennen läfst.

Was die Fehler selbst anlangt: so ist die Kenntnifs einiger derselben ganz überflüfsig, indem schon durch die Beobachtungsmethode dieselben eliminiert werden können. Von anderen bestimmt man ihre Gröfse, ohne sie zu berichtigen und bringt dieselbe bei den Mefsungen in Rechnung. Noch andere berichtigt man durch die vorhandenen Correctionsvorrichtungen nur nahezu, bestimmt dann den noch vorhandenen Ueberschufs ebenfalls mit gehöriger Schärfe und bringt denselben wieder in Rechnung. Bei kleineren Mefsapparaten sucht man die Fehler, die überhaupt einer Verbefserung bedürfen und fähig sind, möglichst zu beseitigen, um dieselben dann, wenigstens in Bezug auf diese Fehler, als fehlerfrei

behandeln zu können. Diefs ist namentlich dann gestattet, wenn der noch etwa vorhandene Ueberschufs des Fehlers auf die Mefsungen als einflufslos angesehen werden kann.

§. 172.

Wird bei dem in den Figg. 87. und 88. dargestellten Durchgangsinstrumente einstweilen auf die Bestimmung der Verticalwinkel an dem Verticalkreise desselben nicht Rücksicht genommen, also nur zum Bestimmen der Durchgänge der Gestirne dienend gedacht, so ist die an dafselbe zu stellende Forderung offenbar, dafs die Collimationslinie des Fernrohrs, bei seiner Rotation um die Horizontalachse, einen durch das Zenith des Beobachtungsortes gehenden gröfsten Kreis der Himmelskugel beschreibt.

Es müfsen daher 1) die beiden stählernen Zapfen der Rotationsachse vollkommen richtige normale Cylinder bilden, weil bei jeder anderen Form derselben die Collimationslinie die erwähnte Ebene verlafsen, dadurch aber das Instrument ganz unbrauchbar sein würde. Bei der richtigen Form der Zapfen ist dann die Verbindungslinie der Mittelpunkte der Durchschnittskreise beider Cylinder die constante Rotationsachse des Fernrohrs.

2. Mufs nicht nur die erste oder Verticalachse wirklich vertical, sondern auch die zweite oder Horizontalachse wirklich horizontal sein. Diefs setzt aber nicht nur die Berichtigung der auf die Horizontal-Rotationsachse gestellten Libelle, sondern auch die gleiche Höhe der Achsenlager und den gleichen Durchmefser der beiden Zapfen der Rotationsachse, oder doch wenigstens eine genaue Bestimmung der Neigung und die Kenntnifs des Unterschiedes der Durchmefser der beiden Zapfen der Rotationsachse voraus.

3. Mufs der Collimationsfehler des Fernrohrs (§. 160.) gleich Null sein, damit die Collimationslinie desselben wirklich einen gröfsten Kreis und keinen kleinen Kugelkreis beschreibt, oder wenigstens die Gröfse desselben ermittelt werden können, um ihn in Rechnung zu bringen.

4. Mufs das Fadennetz in dem Ocular des Fernrohrs eine solche Stellung haben, dafs nicht nur die Fäden gleich deutlich erscheinen, auch von dem zu beobachtenden Gestirne ein klares, reines Bild sich zeigt, sondern es müfsen die 7 senkrechten Fäden auch eine gegen den Himmelsäquator normale Stellung haben.

1. Bestimmung der Gestalt der Zapfen.

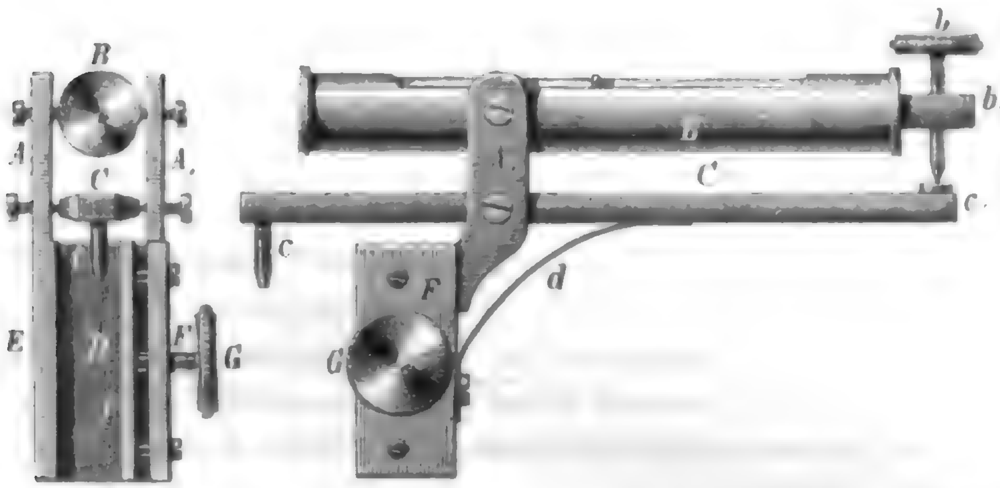
§. 173.

1. Hierzu dient das in Fig. 96. durch Vorder- und Seitenansicht in halber natürlicher Gröfse dargestellte Fühlhebel-Niveau.

Innerhalb zweier Platten A und A_1 dreht sich an ungleichen Hebelsarmen, zwischen Schraubenspitzen, nicht allein die sehr empfindliche Röhrenlibelle B,

sondern auch der Arm *C*. Letzterer hat an dem kürzeren Hebelsarme einen kleinen, unten genau geebneten Stahlcylinder *c*, am Ende des längeren Arms eine

Fig. 96.



kleine Stahlplatte c_1, auf welche die Spitze der Stellschraube *b*, in dem Fortsatz b_1 der Libellenfafsung tritt, und zum Einstellen der Luftblase dient. Die Platten *A* und A_1 bilden mit der Platte *D* ein Ganzes, von welcher wieder in normaler Richtung zwei seitliche Arme *E* und *F* auslaufen, um den Apparat an den Achsenlagern der horizontalen Umdrehungsachse des Durchgangsinstruments mittelst der Druckschraube *G* und der von zwei Stiften gehaltenen Platte *f* so befestigen zu können, dafs der Cylinder *c* den Mantel des zu prüfenden Zapfens berührt. Bringt man nun die Libelle mittelst der Stellschraube zum Einspielen, wozu die an *D* befestigte plattenförmige Feder *d* die gehörige Spannung ertheilt, so darf bei der allmäligen Umdrehung des Fernrohrs die Luftblase ihren Standort nicht im Geringsten ändern, wenn der Zapfen eine genaue mathematische Cylinderform haben soll. Diese Untersuchung wird an beiden Zapfen ausgeführt.

2. Auf eine weniger vollkommene, bei kleineren Apparaten aber völlig ausreichende Weise, kann man sich von der cylindrischen Gestalt der Zapfen durch die, besonders in Bezug auf die seitliche Correction genau berichtigte Röhrenlibelle überzeugen, die man auf die Umdrehungsachse setzt und mit den Stellschrauben des Dreifufses zum Einspielen bringt. Dann darf bei völlig unverändertem Stande der Libelle, der aber bei den wenigsten Apparaten sehr sicher zu erreichen sein möchte, durch die allmälige ganze Umdrehung des Fernrohrs die Blase ebenfalls nicht abweichen.

2. Die Berichtigung der Röhrenlibelle *S* (Fig. 87.).

§. 174.

1. Man wendet hierbei das im §. 30. 3. angegebene Verfahren an. Man bringt nämlich durch Drehung des Obertheils des Durchgangsinstruments die

Libelle in die Richtung des einen Arms des Dreifufses und durch die zugehörige Stellschraube ihre Luftblase in die Mitte der Theilung. Setzt man darauf die Libelle um, und spielt die Luftblase wieder ein, so ist die Libelle richtig. Steht aber das rechtsliegende Ende der Blase vor dem Umstellen bei dem Theilstriche r, nach demselben bei r_1, wobei $r > r_1$ sein mag, und bringt man dann durch dieselbe Stellschraube dafselbe Ende der Luftblase auf $\frac{1}{2} (r - r_1)$ und durch die Correctionsschraube der Libelle die Luftblase wieder in die Mitte der Theilung, so ist die Libelle nahezu berichtigt. Durch ein abermaliges Umsetzen und Wiederberichtigen wird dann noch der etwa gebliebene kleine Fehler weggeschafft worden sein.

2. Zu einer vollständigen Berichtigung der Libelle wird dann noch die Anwendung des im §. 30. 4. angegebenen Verfahrens erfordert.

3. Es ist aber anzurathen, vor der Berichtigung der Libelle die Verticalachse des Instruments wenigstens nahezu vertical zu stellen, um sicher zu sein, dafs nach dem ersten Umstellen derselben, die Luftblase in ihrer ganzen Länge sichtbar bleibt. Nachdem man nämlich in der vorhin angedeuteten Lage mit der einen Stellschraube die Luftblase zum Einspielen gebracht hat, liest man die Eintheilung des Kopfes der Stellschraube ab, dreht nun den ganzen Obertheil um 180°, wozu der eine Vernier des Azimuthalkreises dient, bringt die etwa ausgewichene Luftblase wieder zum Einspielen, liest abermals die Eintheilung des Kopfes der Stellschraube ab und bringt, mit Berücksichtigung der etwaigen ganzen Umdrehungen, den Index auf das arithmetische Mittel beider Ablesungen, so ist, selbst bei einer unberichtigten Libelle, die Verticalachse normal gegen die Richtung des Dreifufsarmes. Nimmt man nun dafselbe Verfahren in einer Richtung vor, die mit den beiden anderen Stellschrauben parallel ist, so wird die Verticalachse nahezu eine verticale Stellung haben.

3. Berichtigung der ungleichen Höhe der Achsenlager der Horizontal-Rotations-Achse und genaue Einstellung der Verticalachse.

§. 175.

Dreht man nach der Berichtigung der Libelle den Obertheil des Durchgangsinstruments um 180° und verändert dabei die Luftblase ihren vorigen Stand, so haben die Achsenlager ungleiche Höhe. Hat man daher, wie im vorigen Paragraphen, die Eintheilung des Kopfes der Stellschraube vor und nach der Umdrehung um 180° abgelesen, so kann man nach dem eingestellten arithmetischen Mittel beider Ablesungen, durch die Correctionsschrauben des beweglichen Achsenlagers sogleich seine Berichtigung vornehmen. Bei einer nochmaligen Umdrehung um 180° und abermaligen Berichtigung wird dann der noch etwa vorhandene Fehler, da nach §. 24. der Ausschlag der Libelle 4,66 Sekunden beträgt, bis auf etwa 1 Sekunde verbefsert sein. Nunmehr ist dann nach dem in 3. des vorigen Paragraphen angegebenen Verfahren, die Verticalachse bis auf einen Winkel von höchstens einer Sekunde vertical zu stellen.

4. Bestimmung der etwaigen Ungleichheit der Zapfen der Horizontal-Rotations-Achse und Bestimmung ihrer Neigung gegen den Horizont.

§. 176.

Die erstere Bestimmung wird ganz nach dem in §§. 32. und 33. angegebenen Verfahren vorgenommen. Nach demselben hat sich gezeigt, dafs bei dem in Rede stehenden Durchgangsinstrumente

$$R - r = 0{,}001939 \text{ Millimeter}$$

beträgt.

Die Neigung der Umdrehungsachse des Fernrohrs in irgend einer Lage des Durchgangsinstruments ergiebt sich aus dem im §. 29. angegebenen Verfahren mittelst des Ausdrucks

$$i_1 = \frac{\frac{1}{2}(r + r_1) - \frac{1}{2}(l + l_1)}{2} \text{ oder } = \frac{\frac{1}{2}(w + w_1) - \frac{1}{2}(0 + 0_1)}{2}$$

in Libellentheilen, also durch Multiplication derselben mit 4,66 Sekunden im Bogenmafs. Ist der Werth für i_1 positiv, so ist das westliche Lager bei dem im Meridian aufgestellt gedachten Instrumente höher, als das östliche, bei einem negativen Werthe aber niedriger. Aus §. 33 folgt ferner, dafs, weil der an dem Kreisende befindliche Zapfen den gröfseren Durchmefser hat, von der ausgemittelten Neigung der Umdrehungsachse noch das Product derselben in 0,5068 abzuziehen ist, sobald derselbe im westlichen Lager sich befindet, eine Lage, die er bei den meisten Beobachtungen besitzt, wobei aber selbstverständlich das Vorzeichen für i_1 immer zu berücksichtigen bleibt.

5. Bestimmung des Collimationsfehlers des Fernrohrs.

§. 177.

Wenngleich das Fernrohr an der Flansche seiner Rotationsachse und daher normal gegen letztere befestigt ist, so mufs doch auch seine Collimationslinie (§. 37.) gegen letztere normal stehen. Es werde aber vorausgesetzt, dafs sie mit der Seite nach dem Kreisende zu den Winkel $90^0 + c$ bilde, wo dann der kleine Winkel c der Collimationsfehler des Fernrohrs genannt wird. (§. 160.)

Am einfachsten und sichersten wird derselbe nach Bessels Vorschrift durch Anwendung der in §§. 160. und 161. beschriebenen Collimatoren gefunden. Nachdem man sowohl die Ocularröhren der Collimatoren, als auch die des Durchgangsinstruments so gestellt hat, dafs von einem beobachteten Sterne ein vollkommen reines Bild wahrgenommen wird, auch die vordere Röhre, welche die beiden Linsen für das Ramsden'sche Ocular enthält, so weit verschoben hat, dafs die Fadenkreuze der Fernröhre in völliger Reinheit und Schärfe erscheinen, stellt man die Collimatoren auf ihren Steinpfeilern mit ihren Objectiven so einander gegenüber, dafs die Collimationslinien derselben eine Gerade bilden. Diese Coincidenz der beiden Fadenkreuze kann defshalb sehr sicher ausgeführt werden, da das eine aus 2 senkrecht auf einander stehenden Fäden besteht, während die des anderen

ein Andreaskreuz darstellen. Um die Collimatoren in die vorgeschriebene Lage zu bringen, dreht man den Obertheil des Durchgangsinstruments um seine Verticalachse so viel seitwärts im Horizonte herum, bis von dem einen Fernrohr aus das Kreuz des andern gesehen werden kann. Durch Anwendung der Mikrometerschraube und der vorgeklappten Blendrahmen f_4 (§. 161.) wird man die Coincidenz sehr sicher ausführen können. Darauf bringt man das Fernrohr des Durchgangsinstruments wieder zwischen die Collimatoren, richtet dafselbe so auf den einen Collimator, dafs die Mitte des zwischen den beiden Horizontalfäden liegenden Theils des Meridianfadens genau sein Kreuz deckt, was durch Anwendung der Mikrometerschrauben für die Horizontal- und Verticalbewegung des Fernrohrs sehr scharf erreicht werden kann. Schlägt man nun das Fernrohr des Durchgangsinstruments durch, d. h. dreht dasselbe um 180°, ohne dabei die Zapfen in ihren Lagern zu vertauschen, so mufs sein Fadenkreuz das des anderen Collimators decken. Zeigt sich aber hierbei eine Abweichung, so ist die Hälfte derselben an den beiden Schräubchen δ und ε der Figg. 32. *a* und *b* zu verbefsern.

Die Bewegung der Fadenkreuze der Collimatoren durch eine Mikrometerschraube und eine mit ihr verbundene eingetheilte Trommel gewährt aber die grofse Bequemlichkeit, ohne Hin- und Herversuche die Berichtigung sogleich auszuführen. Man mufs aber zu diesem Zwecke das Fadenkreuz des Durchgangsinstruments zuerst auf das Kreuz des nördlichen Collimators richten, damit nach dem Durchschlagen der Abstand der beiden Fadenkreuze durch die horizontal wirkende Mikrometerschraube des südlichen Collimators gemefsen werden kann. Man stellt defshalb gleich anfangs vor dem Einrichten der Collimatoren auf einander den Index der Trommeltheilung des südlichen Collimators auf Null und mifst darauf durch Umdrehung der Mikrometerschraube die sich zeigende Abweichung. Stellt man dann den Index um die Hälfte der erhaltenen Ablesung zurück, so sind noch die erwähnten Schrauben δ und ε in Fig. 32. *a* und *b* so weit in Anwendung zu bringen, bis das Kreuz des Durchgangsinstruments mit dem des Collimators coincidiert. In Ermangelung dieser Einrichtung kann man auch den doppelten Collimationsfehler an dem Azimuthalkreise bestimmen. Stellt man dann den Index des Verniers auf die Hälfte desselben zurück, so ist der Ueberschufs noch an dem Fadenkreuze zu verbefsern.

Meistentheils reicht diese einmalige Verbefserung schon aus, da ein gebliebener kleiner Ueberschufs bei Sternbeobachtungen auf die vorhin angegebene Weise gemefsen und in Rechnung gebracht werden kann. Dafselbe gilt auch von mehreren der schon vorangegangenen Berichtigungen.

Nachträglich mufs noch bemerkt werden, dafs vor dem Einstellen der Collimatoren ihre verticale Achse nach dem in den §§. 174. und 175. angegebenen Verfahren vertical zu stellen und darnach dann auch jede der Libellen wenigstens nahezu zu berichtigen ist. Letztere Berichtigung ist hier nur weniger einfach, da die Stellschrauben der Collimatoren keinen eingetheilten Schraubenkopf haben.

Man kann zu dieser Prüfung jeden der Collimatoren, das Fernrohr des Durchgangsinstruments und aufserdem noch ein zweites Hülfsfernrohr anwenden.

Andere Methoden, den Collimationsfehler eines Fernrohrs zu bestimmen, werden in der Folge (§. 223.) angegeben werden.

6. Bestimmung des Zenith- oder Horizontpunktes am Vernier des Höhenkreises.

§. 178.

Mag das Durchgangsinstrument zu Meridianbeobachtungen oder zu Beobachtungen aufserhalb des Meridians benutzt werden: so erfordert doch jede Beobachtung eines Fixsterns immer die Einstellung des Fernrohrs auf die Höhe, welche das Gestirn im Augenblicke der Beobachtung hat, um den Durchgang desselben durchs Fernrohr mit der gehörigen Unbefangenheit bestimmen zu können. Dazu ist aber die Lage des Zenith- oder Horizontpunktes in Bezug auf den Vernier des Verticalkreises erforderlich, weil an diesem die vorläufige Einstellung des Fernrohrs geschieht.

Man bringt unter das mit dem Objective nach Unten senkrecht gerichtete Fernrohr den in §§. 163. und 164. beschriebenen Quecksilberhorizont nebst Zubehör (Figg. 92. und 93.), vertauscht das Ramsden'sche Ocular *o* (Fig. 32. *a*) mit dem im §. 165. nach Fig. 94. beschriebenen Oculare, so dafs durch seine seitliche Oeffnung das Fadenkreuz des Fernrohrs durch eine auf dem Teller des in Fig. 95. dargestellten Stativs und in der erforderlichen Höhe angebrachte Laterne beleuchtet werden kann. Dann sieht man in dem Fernrohre aufser dem Fadenkreuze auch noch das von der Quecksilberoberfläche reflectierte Bild desselben. Bringt man nun durch die Mikrometerschraube *f* (Figg. 87. und 88.) die beiden Horizontalfäden und den Meridianfaden des Fadenkreuzes mit ihren Bildern zur Coincidenz, so ist das Objectiv nach dem Nadir gerichtet, wodurch man also an dem Vernier den Nadirpunkt, mithin auch den Zenith- und Horizontpunkt sogleich erhält.

Ist das Fernrohr in ungefährer horizontaler Lage nach Norden gerichtet, so fällt der Index des Verniers mit 0^0 der Theilung zusammen. Der Horizontpunkt ist aber nach den obigen Bestimmungen $+ 6'$. Soll demnach das Fernrohr, nach Süden gerichtet, eine horizontale Lage haben, so mufs der Index auf $180^0\ 6'$ gestellt werden u. s. w. Man nennt die Abweichung des Indexpunktes vom Horizont- oder Zenithpunkte den Indexfehler des Höhenkreises. (Anm. zu §. 160.)

Auch für diese Bestimmung werden demnächst noch andere Methoden angegeben werden.

7. Bestimmung der Biegung des Fernrohrs.

§. 179.

Wegen der Biegsamkeit der Metalle, aus denen die geometrischen Instrumente gebildet sind, wird die Schwere auf diejenigen Theile, die ihrer Bestimmung nach keine Unterstützung haben können, eine Biegung ausüben. Diefs ist besonders bei dem Fernrohre, der Rotationsachse desselben und dem Verticalkreise der Fall.

Bei dem Fernrohre wird die Schwere, wenn es nach dem Zenith gerichtet ist, auf alle Theile gleichmäfsig wirken, also keine Biegung hervorbringen; diese wird aber bei der horizontalen Lage des Fernrohrs am gröfsten sein, so dafs demnach für jede andere geneigte Lage desselben die Biegung dem Cosinus des Neigungswinkels gegen den Horizont proportional sein wird.

Zur Bestimmung der Gröfse der Biegung des Fernrohrs in der horizontalen Lage wendet man nach den Vorschriften von Bessel*) die beiden Collimatoren an. Man bringt dieselben mit dem Durchgangsinstrumente nach §. 177. in eine nahe gleichhohe und nahe horizontale Lage, in welcher daher die Collimationslinien ihrer Fernröhre parallel sind. Richtet man demnach das Fernrohr des Durchgangsinstruments zuerst auf den einen, und dann auf den anderen Collimator, so dafs deren Fadenkreuze sich decken, liest darauf am Verticalkreise den Stand des Verniers oder der Schraubenmikroskope ab und findet den Unterschied der Ablesungen genau gleich 180°, so findet keine Biegung des Fernrohrs Statt. Bei einer Abweichung von 180° ist diese Gröfse aber der doppelten Biegungsconstante gleich; ist dieselbe daher $= b$, so hat man an jede beobachtete Höhe h die Correction $+ b \cos h$ anzubringen, wobei aber b positiv oder negativ sein kann.

Von der Durchbiegung der Rotationsachse des Fernrohrs wird bei dem genannten Durchgangsinstrumente defshalb abstrahiert werden dürfen, da sie von den Frictionsrollen ganz getragen wird, aufserdem auch der Verticalkreis und der Mikroskopenträger an dem einen Ende der Achse, von dem Fernrohr und dem Balancierungskreis an dem anderen Ende genau balanciert wird.

Ueber die Gröfse der Biegung an Verticalkreisen vergleiche man die Abhandlung von Bessel in XXV. Nro. 577—579 der Schumacher'schen astronomischen Nachrichten, die indessen bei kleinen tragbaren Durchgangsinstrumenten nicht in Betracht kommen dürfte.

*) Schumachers astronomische Nachrichten. III. S. 209.

8. Bestimmung der Richtung des Meridians.

a. Durch die Beobachtung der gröfsten Digressionen eines Circumpolarsterns.

§. 180.

Weil nach §. 127 alle Sterne, bei welchen $\delta > 90^0 - \varphi$ ist, für einen Ort von der Polhöhe φ nie unter-, sondern zwei Mal durch den Meridian gehen, so wird man die Zeitpunkte, wo sie am weitesten vom Meridian abstehen, oder die gröfste Digression oder Ausweichung haben, leicht berechnen können. Denn da in dem sphärischen Dreieck ZSN nach der zweiten Gleichung der Formeln [7] des §. 127.

$$\cos h \cos p = \sin \varphi \cos \delta - \cos \varphi \sin \delta \cos t$$

ist, so wird für einen Circumpolarstern von der Declination δ die gröfste Digression für $p = 90^0$ Statt finden; dann erhält man für die Zeit der gröfsten Digression den Ausdruck

$$\sin \varphi \cos \delta = \cos \varphi \sin \delta \cos t,$$

oder

$$\cos t = \operatorname{tg} \varphi \operatorname{cotg} \delta. \qquad [42]$$

Da man nun nach §. 122. die Zeit der Culmination des Sterns findet, so ergeben sich hieraus auch leicht die Zeitpunkte für die gröfste Digression desselben.

Liest man daher auf dem Azimuthalkreise für die beiden Zeitpunkte den Stand des einen Verniers ab, so wird das arithmetische Mittel aus beiden Ablesungen dem Azimuthe 180° entsprechen. Stellt man also das Instrument auf diefs Azimuth ein, so wird der Mittelfaden des Fernrohrs in der Ebene des Meridians sich befinden.

b. Durch die Beobachtung correspondierender Stern- oder Sonnenhöhen.

§. 181.

Diese Methode beruht auf dem im §. 128. angegebenen Satze, dafs auf beiden Seiten des Meridians zu gleichen Stundenwinkeln eines Gestirns auch gleiche Höhen gehören. Beobachtet man demnach mit dem Fernrohr des Durchgangsinstruments irgend einen Fixstern in derselben Höhe vor und nach seiner Culmination und liest bei beiden Einstellungen zugleich den Stand des Azimuthalkreises ab, so ist das arithmetische Mittel beider Ablesungen der Punkt des Azimuthalkreises, welcher dem Nullpunkte des Azimuths entspricht, und daher der Mittelfaden des darauf eingestellten Fernrohrs in der Richtung des Meridians. Diese Bestimmung ist indessen nur bei der Beobachtung der Gestirne richtig, deren Declination sich während beider Beobachtungen nicht ändert; bei der Beobachtung der Sonne dagegen, wobei man den oberen oder unteren Rand derselben mit dem Horizontalfaden des Fadennetzes zur Berührung bringt, bedarf defshalb die gefundene Richtung noch einer kleinen Correction. (§. 240.)

c. Durch Beobachtung beider Durchgänge desselben Circumpolarsterns.

§. 182.

Sie beruht auf dem sphärisch-atronomischen Satze, dafs von allen Verticalkreisen nur der Meridian den Parallelkreis eines Circumpolarsterns halbiert. Beobachtet man daher an dem Mittelfaden des Fernrohrs die drei Mal auf einander folgenden Durchgänge des Polarsterns und zugleich an einer Uhr, deren Gang man während der Beobachtungen als nahezu regelmäfsig annehmen kann, die Durchgangszeiten und ist dann die zweite derselben genau in der Mitte zwischen der ersten und dritten, so ist der Mittelfaden in der Ebene des Meridians. Bei einem gefundenen Unterschiede wird daher der Mittelfaden nach derjenigen Seite des Meridians abweichen, zu welcher die kleinere Zwischenzeit gehört. Durch eine geringe Verstellung des Fernrohrs im Azimuth kann man demnach den Fehler nahezu verbefsern und durch eine wiederholte Anwendung des Verfahrens schliefslich ganz berichtigen.

9. Bestimmung des Durchgangs eines Gestirns an dem Mittelfaden des Fernrohrs.

§. 183.

Es ist schon im §. 178. erwähnt, dafs das Fernrohr schon vor der Beobachtung des Durchgangs auf die der Lage des Gestirns an der Himmelskugel entsprechende Höhe eingestellt werden mufs, damit sein Bild schon in der Nähe der beiden Aequatorealfäden erscheint und dafselbe dann sogleich durch die betreffende Mikrometerschraube *f* in Fig. 87. und 88. zwischen die Fäden gebracht werden kann. Es ist jene Einstellung um so mehr nöthig, wenn der Durchgang des Gestirns an allen Verticalfäden zu beobachten ist, was hier aber nicht vorausgesetzt werden soll.

Zunächst mufs die Culminationszeit des Gestirns berechnet werden. Man findet dieselbe nach §. 122., wenn von der aus den astronomischen Ephemeriden genommenen Rectascension, die erforderlichen Falles noch um 24^{h} zu vermehren ist, die Sternzeit für den Anfang des Beobachtungstages abgezogen und der Rest nach §. 135. in mittlere Sonnenzeit verwandelt wird. Es bedarf aber dabei die aus den Ephemeriden genommene Sternzeit noch einer Reduction auf den Beobachtungsort. Nach §. 135. beträgt diese, auf das Observatorium der polytechnischen Schule zu Hannover bezogen, für die Sternzeit aus dem Nautical Almanac $-\ 6^{s},40$, für die aus dem Berliner Jahrbuche $+\ 2^{s},40$.

Für die Einstellung des Fernrohrs wird nach [11] und [14] im §. 128. zur Aequatorhöhe des Beobachtungsorts die Declination des Gestirns algebraisch addiert und diese Summe um die mittlere Refraction, die aus Tafel I. des §. 142. genommen wird, so wie um den Indexfehler des Verniers des Verticalkreises (§. 178.) vermehrt.

So findet man z. B. nach dem Nautical Almanac für Nov. 13. 1860

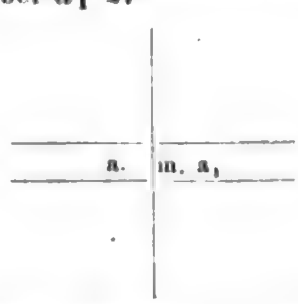
AR β Capricorni		20^h	20^m	$55^s,67$	
Sternzeit 0^h		15	31	16,99	− 6,40
Sternzeit der Culmination für Hannover		4^h	59^m	$45^s,08$	
Mittlere Sonnenzeit der etc. .		4^h	48^m	58^s	
Aequatorhöhe für Hannover .	=	37°	37′	28″	
Declination β Capricorni . .	−	18	16	15	
		19	21	13	
Horizontpunkt		180	6	—	
Mittlere Refraction	+		2	46	
		199°	29′	59″	

= der Höhe zum Einstellen des Fernrohrs.

Es kommt daher nur noch auf die richtige Bestimmung der Durchgangszeit an der Sternuhr an.

Während der Stern zwischen den beiden Horizontalfäden des Fadennetzes sich fortbewegt und von dem Meridianfaden nicht mehr zu entfernt ist, wird an der Uhr die Sekundenzahl abgelesen, die in einem bestimmten Momente der Sekundenzeiger angiebt. Dann zählt man nach den hörbaren Schlägen des Pendels in Gedanken und nur die Bewegung des Sterns verfolgend bis zu den beiden Schlägen fort, bei welchen der Stern vor und hinter dem Faden wahrgenommen wird. Während dieses Durchganges bestimmt man nach dem Augenmafse das Verhältnifs der Abstände des Sterns von dem Mittelfaden und drückt dafselbe in Zehnteln der Sekunde aus, so erhält man dadurch die Zahl der Zehntelsekunden, welche man den ganzen Sekunden des vorletzten Schlages noch zuzusetzen hat.

In einem Fernrohre mit nichtprismatischem Oculare bewegen sich alle in der oberen Culmination beobachteten Sterne im Gesichtsfelde von W. nach O., bei einem Fernrohre mit prismatischem Oculare und bei dem gebrochenen Fernrohr aber von O. nach W., also übereinstimmend mit der scheinbaren Bewegung des Himmels. In der unteren Culmination beobachtete Sterne zeigen selbstverständlich eine Bewegung nach entgegengesetzter Richtung. Zählte man also z. B., als der Stern in a war, 26^s, bei a_1 27^s



und ist $am : ma_1 = 1 : 2$, oder nahe $= 3 : 7$, so ist der Durchgang durch den Mittelfaden $26^s,33$ zu nehmen.

Auf dieselbe Weise würde man auch die Durchgänge an jedem einzelnen Seitenfaden bestimmen können; wie man aber die an den Seitenfäden beobachteten Durchgänge auf den Mittelfaden reducieren kann, wird §. 186. u. f. zeigen.

Wird Statt der astronomischen Pendeluhr ein Chronometer angewandt, und geben die Schläge desselben, wie gewöhnlich, $^4/_{10}$ Sekunden an, so fängt man bei dem Orte vor dem Mittelfaden in dem Augenblicke Null zu zählen an, dafs bei dem folgenden Schlage der Stern hinter dem Faden sich befindet und zählt dann die Schläge so lange fort, bis der Zeiger über einer geraden Zahl von Sekunden steht. Dann liest man die Zeit ab, zieht von ihr die Zahl der Sekunden ab, welche der Zahl der Schläge vom 0ten an entsprechen und setzt noch den Theil von 0,4 Sekunden hinzu, der nach der Schätzung zwischen dem 0ten Schlage und dem Durchgange des Sterns durch den Faden verflofsen ist. War z. B. der letztere Abstand $= 0^s,2$ und zeigte der Chronometer, nachdem von Null an 14 Schläge gezählt waren, $6^h\ 30^m\ 50^s$, so ist die Zeit des Durchgangs $6^h\ 30^m\ 50^s + 0^s,2 - 14 \,.\, 0^s,4 = 6^h\ 30^m\ 44^s,6$.

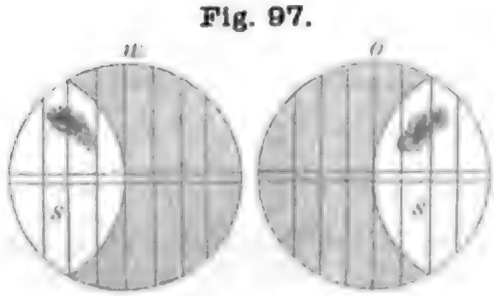
§. 184.

Die Genauigkeit der Bestimmung der Durchgangszeit eines Sterns hängt bei demselben Beobachter aber nicht nur von dem Gehörsfehler, durch welchen die Schläge der Uhr nicht richtig getheilt werden und der offenbar für alle Sterne derselbe sein wird, sondern auch von dem Gesichtsfehler ab, der bei dem Antritt oder dem Durchgange des Sterns durch den Faden mit dem Auge begangen wird. Dieser wird offenbar mit der Abnahme der scheinbaren Geschwindigkeit, mit welcher der Stern sich durch das Feld des Fernrohrs bewegt, also mit der Secante der Declination zunehmen, kann demnach durch $\frac{\alpha}{\cos\ \delta}$ dargestellt werden, wird aber um so kleiner ausfallen, je mehr das Fernrohr vergröfsert. Aufserdem hat aber auf diesen zweiten Fehler die im Fernrohre sich zeigende Unruhe oder das Zittern des Bildes des Sterns einen grofsen Einflufs, das bei Sternen in der Nähe des Horizonts am stärksten wahrzunehmen ist.

§. 185.

Bei der Beobachtung des Durchganges der Sonne bringt man, da ihr Mittelpunkt nicht direct beobachtet werden kann, den östlichen und westlichen Rand derselben an den Mittelfaden, so dafs letzterer als Berührungslinie der ersteren erscheint, wie diefs Fig. 97 zeigt, worin die helleren Flächen *s* einen Theil der Sonnenoberfläche bezeichnen. Wird die Beobachtung zur Zeit

Fig. 97.



der Culmination gemacht, so geben die Ephemeriden für den betreffenden Mittag die Zeitgleichung, welche algebraisch zu 12^h zu addieren ist, um die Culminationszeit für den Mittelpunkt der mittleren Sonne zu erhalten. Verwandelt man also die in den Ephemeriden nach Sternzeit gegebene Culminationsdauer des Durchmefsers der Sonne in mittlere Zeit und setzt ihre Hälfte der obigen Summe subtractiv und additiv hinzu, so erhält man beziehungsweise die Culminationszeit des westlichen und östlichen Sonnenrandes, so dafs demnach aus dem beobachteten Durchgange und der Angabe der nach mittlerer Zeit gehenden Uhr der Fehler derselben sogleich erkannt werden kann.

So ist z. B. für 0^h 26. April 1862 die Zeitgleichung $= - 2^m\ 17^s,17$, und die Culminationsdauer $2^m\ 11^s,20$ Sternzeit oder $2^m\ 10^s,84$ mittlere Zeit; folglich

die Culmination des westl. Randes $11^h\ 57^m\ 42^s,83 - 1^m\ 5^s,42 = 11^h\ 56^m\ 37^s,41$, und

die „ „ östl. „ $11^h\ 57^m\ 42^s,83 + 1^m\ 5^s,42 = 11^h\ 58^m\ 48^s,25$.

Zur Einstellung des Fernrohrs hat man:

Aequatorhöhe	$= 37^0\ 37'\ 28''$
Decl. ⊙	$= + 13^0\ 30'\ 33''$
	$51^0\ 8'\ 1''$
Horizontpunkt	$180^0\ 6'$ —
Mittlere Refraction +	$47''$
	$231^0\ 14'\ 48''$

Aus der Vergleichung der berechneten und beobachteten Durchgangszeiten ergiebt sich dann der Fehler der Uhr. (Vgl. §. 234.)

10. Bestimmung des Abstandes der Seitenfäden vom Mittelfaden und Reduction der an den ersteren beobachteten Durchgänge auf den Mittelfaden.

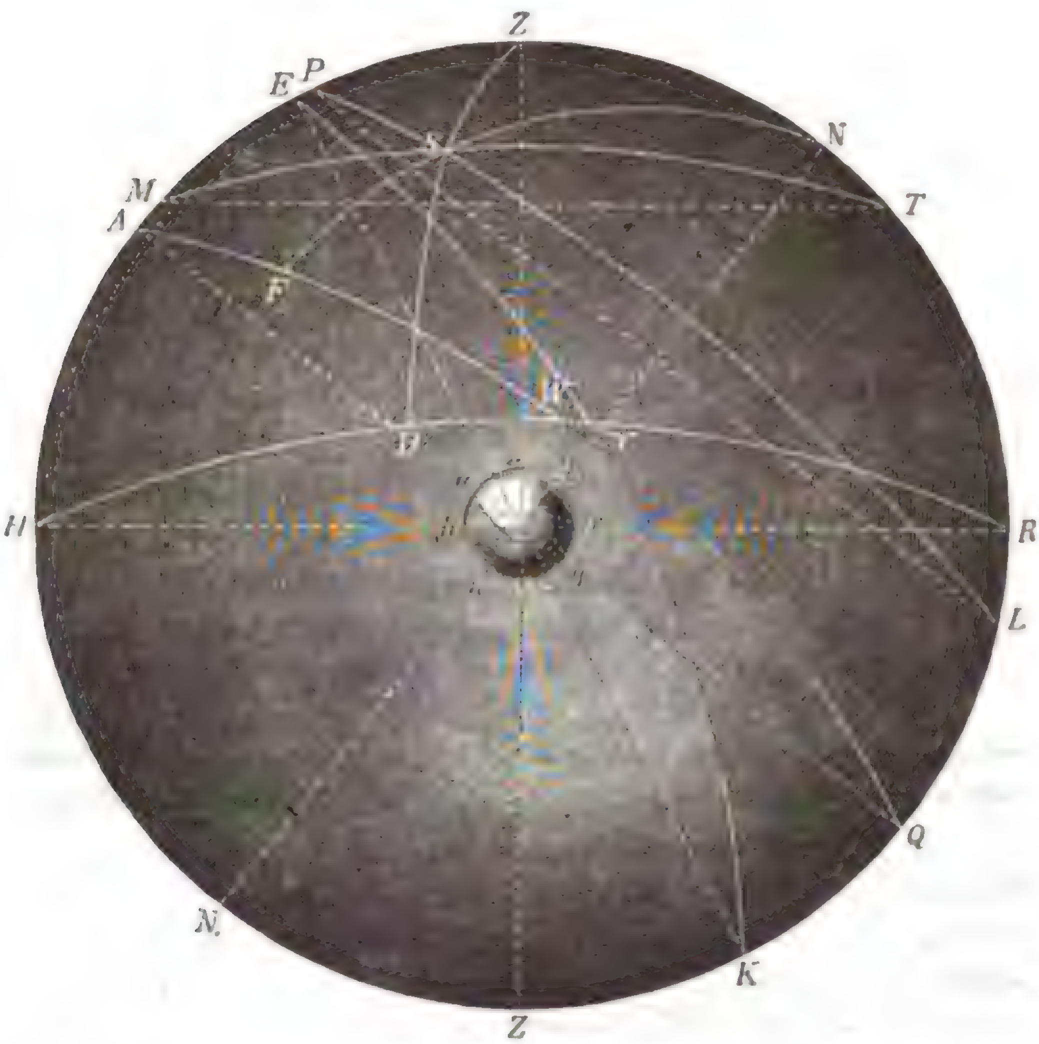
§. 186.

Wegen der steten Ortsveränderung der Himmelskörper gegen den Beobachtungsort kann von einer solchen wiederholten Mefsung, wie sie bei terrestrischen Gegenständen möglich ist, bei den Gestirnen offenbar keine Rede sein. Um aber dennoch bei letzteren die Beobachtungen vervielfältigen zu können und sich dadurch von den unvermeidlichen Beobachtungsfehlern möglichst unabhängig zu machen, setzt man das Fadennetz im Fernrohr des Durchgangsinstruments aufser den beiden nahe liegenden Horizontalfäden und dem mittleren senkrechten Meridianfaden, noch aus einer auf beiden Seiten des letzteren angebrachten gleichen Anzahl von ebenfalls senkrechten Seitenfäden, in möglichst gleichem Abstande, zusammen. Hätten nun die Verticalfäden einen vollkommen gleichen Abstand von einander und wäre derselbe, in Zeit ausgedrückt, bekannt, so würde die Zeit des Durchgangs des Gestirnes am Mittelfaden gleich dem arithmetischen Mittel der beobach-

teten Durchgangszeiten an allen Fäden sein. Meistens sind aber die Fädenabstände ungleich, weshalb es darauf ankommt, die Abstände jedes Seitenfadens vom Mittelfaden, in Zeit ausgedrückt, für einen Stern von bestimmter Lage, z. B. einen solchen, dessen Declination = 0 ist, zu kennen, um daraus dann die Fädenintervalle vom Mittelfaden für jeden andern Stern von bekannter Declination bestimmen zu können. Die Möglichkeit dieser Bestimmung ergiebt sich aus Folgendem.

Es sei AZN in Fig 82. der Meridian, AQ der Aequator, PSL ein

Fig. 82.



Parallelkreis, den ein Stern S an der Himmelskugel beschreibt. Die Zeit, welche derselbe gebraucht, um von P nach S zu kommen, sei $= t$; zugleich sei diefs die Zeit, in welcher der Stern von dem einen Seitenfaden bis zum Mittelfaden gelangt. Die Declination des Sterns sei $= d$. In dem rechtwinklichten sphärischen Dreieck NPS ist also gleich PS dem Fadenabstande in Zeit $= f$, im Bogenmafs also $= 15\,f$, $NS = 90^0 - d$ und PNS gleich dem zum Fadenabstande gehörigen Stundenwinkel, $= 15\,t$, folglich

$$\sin 15\, f = \cos d \sin 15\, t. \qquad [43.]$$

Ist das Intervall von f nur klein, so ist, in Zeit ausgedrückt

$$f = t \cos d. \qquad [44.]$$

§. 187.

Es seien nun $t_1\ t_2\ t_3 \ldots\ t_7$ die beobachteten Durchgangszeiten eines Sterns, dessen Declination $= d$, an dem 1., 2., 3. . . . 7ten Verticalfaden in der oberen Culmination. Bei Fernröhren mit prismatischem Ocular oder bei gebrochenen Fernröhren werden daher bei der oberen Culmination des Sterns die Zahlen $t_1\ t_2 \ldots$ von Links nach Rechts wachsende Werthe darstellen, während sie bei der unteren Culmination von Rechts nach Links wachsen. Das Entgegengesetzte wird bei Fernröhren mit gewöhnlichen astronomischen Ocularen Statt finden. Es sei ferner

$$\begin{aligned} t_4 - t_1 &= \tau_1, \\ t_4 - t_2 &= \tau_2, \\ t_4 - t_3 &= \tau_3, \\ t_5 - t_4 &= \tau_5, \\ t_6 - t_4 &= \tau_6, \\ \text{und } t_7 - t_4 &= \tau_7. \end{aligned}$$

Dann ist für einen Stern im Aequator, dessen Declination also $= 0$ ist, wenn $\varphi_1\ \varphi_2\ \varphi_3 \ldots \varphi_7$ die Fädenintervalle des 1., 2., 3. . . . 7ten Fadens vom Mittelfaden darstellen, für den obigen Stern, dessen Declination $= d$ war, nach dem vor. Paragraphen

$$\left.\begin{aligned} \sin \varphi_1 &= \sin 15\, \tau_1 \cos d \\ \sin \varphi_2 &= \sin 15\, \tau_2 \cos d \\ &\ldots\ldots\ldots \end{aligned}\right\} \qquad [45.]$$

oder, wenn der Abstand φ nur klein ist,

$$\left.\begin{aligned} \varphi_1 &= \tau_1 \cos d, \\ \varphi_2 &= \tau_2 \cos d, \\ \varphi_3 &= \tau_3 \cos d, \\ &\ldots\ldots \end{aligned}\right\} \qquad [46.]$$

Auf diese Weise wird man daher durch eine grofse Zahl von Beobachtungen an Circumpolarsternen, die dem Pole nahe stehen, die Werthe der Fädenintervalle vom Mittelfaden für den Aequator berechnen können, um dann aus allen das arithmetische Mittel zu nehmen.

Für das hier in Rede stehende Durchgangsinstrument ist für die 7 Fäden des Fadennetzes gefunden:

$$\varphi_1 = 25^s{,}2, \quad \varphi_2 = 17^s{,}2, \quad \varphi_3 = 8^s{,}9,$$
$$\varphi_5 = 8^s{,}8, \quad \varphi_6 = 17^s{,}2, \quad \varphi_7 = 26^s{,}2.$$

Bei diesen Bestimmungen ist indessen zu beachten, dafs die berechneten Fädenabstände nur so lange die nämlichen bleiben, als die Entfernung des

Fadennetzes vom Objectiv des Fernrohrs sich nicht ändert. Es ist defshalb erforderlich, vor den Beobachtungen das Fadennetz so zu stellen, dafs ein beobachteter Stern mit ganz reinen Umrifsen erscheint und dann dafselbe in dieser Stellung unverrückt zu lafsen.

§. 188.

Ein zweites Verfahren, die Fädendistanzen vom Mittelfaden zu bestimmen, rührt von Gaufs*) her und stützt sich auf den Satz, dafs wenn auf das Objectiv eines Fernrohrs Lichtstrahlen parallel einfallen und sich im Brennpunkte desfelben vereinigen, auch umgekehrt Lichtstrahlen, welche von einem im Brennpunkte befindlichen leuchtenden Gegenstande, z. B. von den gehörig beleuchteten Faden des Fadennetzes herkommen, aus dem Objectiv des Fernrohrs wieder parallel austreten, die von verschiedenen Punkten des Fadennetzes ausgegangenen Lichtstrahlen aber nach dem Durchgange durch das Objectiv dieselben Neigungen gegen einander haben werden, die der Entfernung jener Punkte von einander gleich ist.

Bringt man daher das Fernrohr des Durchgangsinstruments in eine solche Lage, oder an dem Ocular desselben den im §. 161. erwähnten Blendrahmen f_4 (Fig. 90.) an, dafs das Fadennetz gehörig beleuchtet erscheint und stellt dem Objectiv des Fernrohrs so einen Theodolith gegenüber, dafs die Collimationslinien beider Fernröhre eine nahezu horizontale Gerade bilden, so wird man mittelst des Theodoliths die Winkel bestimmen können, welche jeder der Seitenfäden mit dem Mittelfaden einschliefst. Verwandelt man diese Winkel durch Division mit 15 in Zeit, so stellen letztere Zahlen die Werthe für $\varphi_1\ \varphi_2\ \varphi_3 \ldots$ dar.

§. 189.

Bezeichnen nun $f_1\ f_2\ f_3 \ldots$ die in Zeit ausgedrückten Abstände des 1, 2, 3ten ... Seitenfadens vom Mittelfaden für einen Stern, dessen Declination $= \delta$ ist, so werden dieselben, wenn sie für einen Stern mit der Declination 0, beziehungsweise $\varphi_1\ \varphi_2\ \varphi_3 \ldots$ waren, dargestellt durch

$$f_1 = \frac{\varphi_1}{\cos\delta},\ f_2 = \frac{\varphi_2}{\cos\delta},\ f_3 = \frac{\varphi_3}{\cos\delta},\ \ldots \quad [47.]$$

Es sind daher die Durchgänge des Sterns, dessen beobachtete Durchgangszeiten $t_1,\ t_2,\ t_3 \ldots$ für den 1. 2. 3. ..... Faden waren,

$$t_1 + f_1,\ t_2 + f_2,\ t_3 + f_3,$$
$$t_5 - f_5,\ t_6 - f_6,\ t_7 - f_7,$$

folglich ist die auf den Mittelfaden reducirte Durchgangszeit

$$t = \frac{t_1 + t_2 + t_3 + \ldots + (f_1 + f_2 + f_3) - (f_5 + f_6 + f_7)}{7}. \quad [48.]$$

Beispiel. Bei der oberen Culmination von η Urs. maj. waren am

---

*) Schuhmacher's astronomische Nachrichten II. S. 371.

6. Juli 1859 folgende Durchgangszeiten t_1 t_2 t_3 .... an den 7 Fäden beobachtet:

I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.
$13^h\ 41^m\ 22^s$	34^s	43^s	$42^m\ 1^s$	$14^s,5$	$28^s,5$	42^s.

Decl. η Urs. maj. $= 50^0\ 1'\ 5'',8$, also $\cos\delta = 0,6425$.

Man erhalt daher aus den Werthen für $\varphi_1\ \varphi_2\ \varphi_3$ .... (§. 187.)

$$f_1 = 39^s,2,\ f_2 = 26^s,7,\ f_3 = 13^s,8,$$

$$f_5 = 13^s,7,\ f_6 = 26^s,7,\ f_7 = 40^s,7,$$

$$\begin{aligned}
\text{folglich } t_1 + f_1 &= 13^h\ 41^m\ 61^s,2. \\
t_2 + f_2 &= 13\ \ 41\ \ 61,\ 2. \\
t_3 + f_3 &= 13\ \ 41\ \ 56,\ 8. \\
t_4 &= 13\ \ 41\ \ 61,\ 0. \\
t_5 - f_5 &= 13\ \ 41\ \ 60,\ 8. \\
t_6 - f_6 &= 13\ \ 41\ \ 61,\ 8. \\
t_7 - f_7 &= 13\ \ 41\ \ 61,\ 3. \\
\hline
\text{folglich } t &= 13^h\ 42^m\ \ 0^s,6.
\end{aligned}$$

§. 190.

Ohne erst die Werthe für $f_1\ f_2\ f_3$ .... zu berechnen, kann man den Ausdruck für t auch auf folgende Weise finden. Setzt man nämlich für $f_1\ f_2\ f_3$ ... die m vorigen Paragraphen angegebenen Ausdrücke, so erhält man für die Durchgänge des Sterns, dessen Declination δ ist,

$$t_1 + \frac{\varphi_1}{\cos\delta},\ t_2 + \frac{\varphi_2}{\cos\delta},\ t_3 + \frac{\varphi_3}{\cos\delta},\ t_4,$$

$$t_5 - \frac{\varphi_5}{\cos\delta},\ t_6 - \frac{\varphi_6}{\cos\delta},\ t_7 - \frac{\varphi_7}{\cos\delta},$$

folglich ist das Mittel aller

$$t = \frac{t_1 + t_2 + \ldots\ldots + t_7}{7} + \frac{(\varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3) - (\varphi_5 + \varphi_6 + \varphi_7)}{7\cos\delta}, \quad [49.]$$

so daſs mithin das 2te Glied des rechtseitigen Ausdrucks die Correction darstellt, die an dem arithmetischen Mittel der beobachteten Durchgangszeiten anzubringen sein wird, wenn der Abstand der Fäden ein ungleicher ist.

§. 191.

Wenn auch die Beobachtung und die gleichzeitige Aufnotierung der Durchgangszeiten eines dem Pole nahe stehenden Sterns, wegen seiner langsamen scheinbaren Bewegung, dem Anfänger keine Schwierigkeiten darbieten wird, so werden dieselben sich doch schon bei einem dem Aequator nahe stehenden Sterne zeigen und zwar um so mehr, je gröſser die Zahl der Seitenfäden des Fadennetzes ist. Durch den galvanischen Registrierapparat, der von dem Amerikaner Locke zuerst in Anwendung gebracht sein soll, später von Lamont in München

verbefsert und in jüngster Zeit von Krille (Kessels Nachfolger) in Altona in sehr grofser Vollkommenheit für die dortige Sternwarte angefertigt wurde, ist die Genauigkeit der Beobachtung der Durchgangszeiten der Gestirne auf eine bewundernswürdige Weise erhöht worden. Der Raum dieses Werks gestattet nicht, von demselben eine ausführliche Beschreibung zu geben; der Leser findet dieselbe in „Peters Mittheilungen über einen auf der königlichen Sternwarte zu Altona aufgestellten galvanischen Registrierapparat. Altona, 1858, so wie von demselben im 49. Bande der Schumacherschen astronomischen Nachrichten, Nro. 1153. und 1154.

Mit Hülfe eines Elektromagneten wird mit jedem Schlage des Pendels der astronomischen Uhr die galvanische Kette so geschlofsen und unterbrochen, dafs der Gang der Uhr durchaus nicht benachtheiligt wird. Auf einen hohlen Mefsingcylinder von 15 Pariser Zoll Länge und $5^1/_2$ Pariser Zoll Durchmefser ist nämlich auf der Aufsenfläche geschwärztes Kreidepapier gespannt, worauf die Markierungen sowohl für die Sekunden der Uhr, als auch für die Beobachtungspunkte der Durchgänge, mittelst Schreibstifte mit Diamantspitzen durch eingerifsene weifse Linien dargestellt werden. Sowohl der Cylinder, als die Zeichenvorrichtung, deren Zeichenstifte durch Elektromagnete bewegt werden, wird durch ein Uhrwerk gedreht.

Während eine Batterie zur Markierung der Sekunden der Uhr dient, wird eine zweite, von deren Polen Drähte neben dem Beobachtungsinstrumente herabhängen und in einer Taste befestigt sind, zur Notierung der Durchgänge angewandt; so oft nämlich der Stern einen Verticalfaden passiert, wird durch das Berühren der Taste der galvanische Strom geschlofsen und dadurch auf den erwähnten Papierstreifen neben den Marken für die Sekunden ein anderes Zeichen gegeben. Aus dem zu bestimmenden Abstande der letzteren Marken von den Endpunkten der Sekundenstriche können daher kleine Bruchtheile der Sekunde mit Sicherheit bestimmt werden.

Es wird demnach bei einer vollkommenen Einrichtung der galvanischen Registrierapparate nicht allein eine gröfsere Genauigkeit der Bestimmung der Durchgangszeiten erreicht, sondern es können auch in gleicher Zeit ungleich mehr Beobachtungen angestellt werden. Wird ein solcher Apparat mit elektrischen Telegraphen in Verbindung gebracht, so kann er dazu dienen, an verschiedenen Orten den Durchgang der nämlichen Sterne durch den Meridian derselben zu beobachten und dadurch also den Längenunterschied der Orte auf eine Weise feststellen, die ohne Anwendung des Apparates wohl unmöglich ist. Es gehört daher mit Recht der galvanische Registrierapparat zu den wesentlichsten Fortschritten der praktischen oder beobachtenden Astronomie.

11. Bestimmung der Neigung der Horizontal-Umdrehungsachse, des Collimationsfehlers und des Azimuths des Fernrohrs durch Beobachtungen, so wie des Standes und Ganges der Uhr.

§. 192.

Obschon man durch das unter 5. (§. 177.) angegebene Verfahren den Collimationsfehler des Fernrohrs sehr klein machen kann, so wird doch derselbe, wegen der Anwendung mechanischer Mittel, nicht vollständig weggeschafft werden können: auch wird man nicht sicher sein, ob nicht durch den Einflufs einer verschiedenen Temperatur wieder Aenderungen im Instrumente vorgegangen sind. Defshalb bestimmt man denselben, so wie auch den Fehler des Fernrohrs im Azimuth durch astronomische Beobachtungen mit gröfserer Schärfe und bringt denselben bei jeder ferneren Beobachtung in Rechnung.

1. Man bestimme zunächst nach dem im §. 176. angegebenen Ausdrucke

$$i_1 = \frac{\frac{1}{2}(w + w_1) - \frac{1}{2}(0 + 0_1)}{2}$$

in Libellentheilen die Neigung der Rotationsachse, bringe daran die Verbefserung wegen der Ungleichheit der Zapfen $= - 0{,}5608 \,.\, i_1$ an, multipliciere dann mit dem Werthe k (hier 4,66 Sekunden) eines Niveautheils und drücke das Product in Zeit aus, so erhält man

$$i = \frac{(i_1 - 0{,}5068 \,.\, i_1)\, k}{15}. \qquad [50.]$$

§. 193.

2. Zur Bestimmung des Collimationsfehlers c wählt man einen Stern, dessen Declination nicht kleiner als 70° ist, am zweckmäfsigsten α oder δ Ursae minoris, damit man durch dessen langsame Bewegung, wenn sein Durchgang an den ersten 2 oder 3 Fäden beobachtet ist, noch genug Zeit zur Umlegung der Rotationsachse und zur Beobachtung der Durchgänge an den 3 oder 2 letzten Fäden behält, welche selbstverständlich auf der anderen Seite des Meridians liegen werden. Da nun nach §. 187. die Abstände der Seitenfäden vom Mittelfaden bekannt sind und nach §. 189. die Reduction derselben auf den Mittelfaden sich bestimmen läfst, so seien die auf den Mittelfaden reducierten Werthe beziehungsweise ϑ und ϑ_1, so ist, wenn δ die Declination des beobachteten Sterns bezeichnet, in Zeitsekunden ausgedrückt

$$c = \tfrac{1}{2}(\vartheta - \vartheta_1) \cos \delta. \qquad [51.]$$

Bei dem in Rede stehenden Durchgangsinstrumente bedarf es indessen dieser Bestimmung nicht, da durch den südlichen Collimator, dessen Fadenkreuz sich in horizontaler Richtung bewegen läfst, der Collimationsfehler sich sogleich bestimmen läfst, indem nach §. 161. ein Trommeltheil desselben 0,1406 Sekunden (in Zeit)

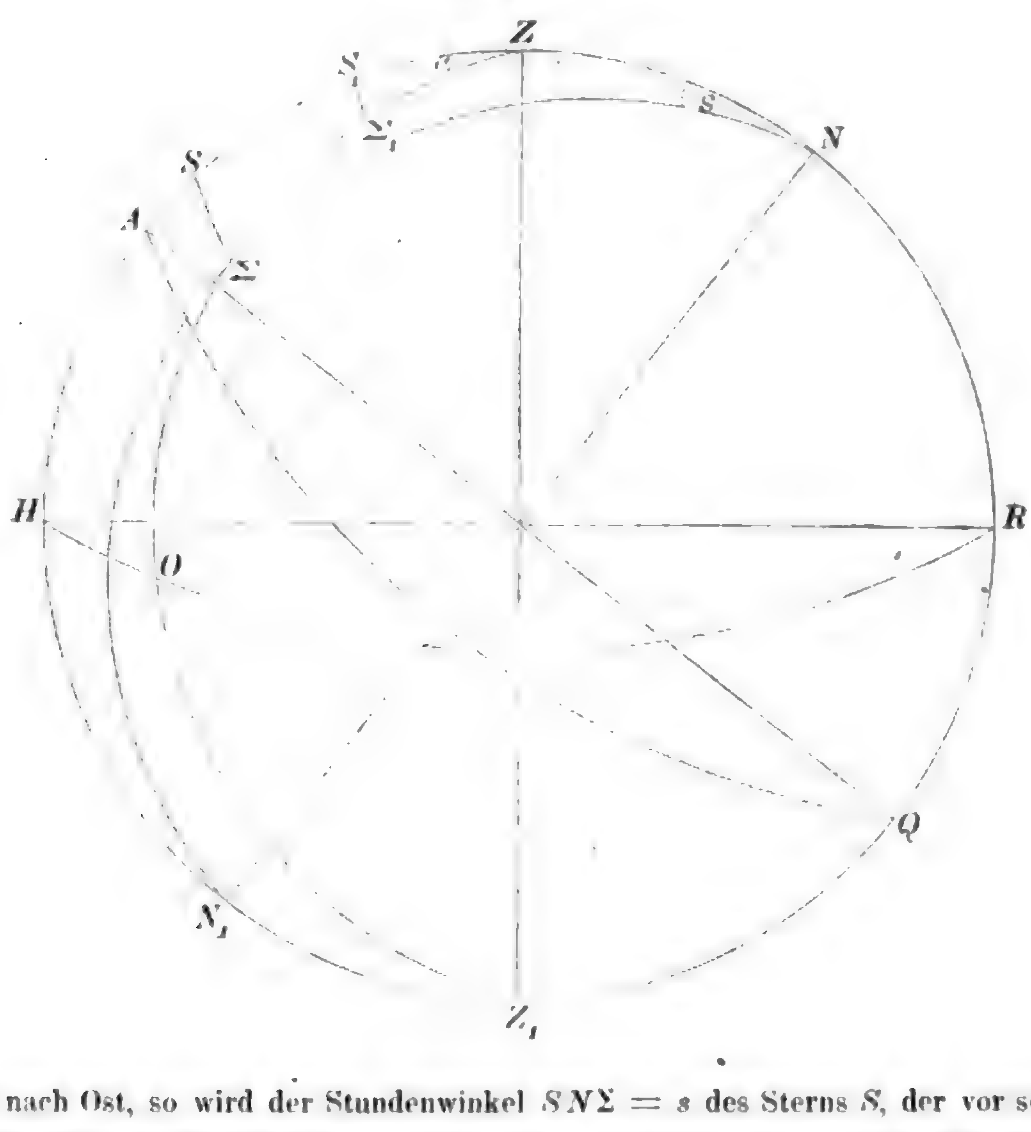
entspricht. Es ist nur noch zu bemerken, dafs wenn in dem südlichen Collimator das Fadenkreuz desselben links vom Meridianfaden des Durchgangsfernrohrs erscheint, das letztere nach Osten hin abweicht.

§. 194.

3. Zur Bestimmung des Azimuths werde vorerst vorausgesetzt, dafs der Collimationsfehler des Fernrohrs nahezu berichtigt, auch die Umdrehungsachse desselben möglichst horizontal gestellt und das Instrument beinahe in den Meridian gebracht ist. Ferner sei das östliche Azimuth, auf der Südseite des Zeniths $= a$, so dafs daher für ein negatives a das Azimuth westlich ist.

Ist nun in Fig. 98. $Z\Sigma O$ der von dem Mittelfaden des Fernrohrs beschriebene Verticalkreis, NZH der Meridian und HO der Bogen des Horizonts von

Fig. 98.



Süd nach Ost, so wird der Stundenwinkel $SN\Sigma = s$ des Sterns S, der vor seiner Culmination am Mittelfaden des Fernrohrs in Σ beobachtet wird, in Zeit ausgedrückt, der beobachteten Durchgangszeit zuzusetzen sein, um die Culminationszeit zu erhalten. In dem sphärischen Dreieck $Z\Sigma N$, in welchem $Z\Sigma$, oder nahe ZS

die Zenithdistanz z des Sterns, dessen Rectascension $= \alpha$, ΣN oder SN seine Polardistanz $= 90^0 - \delta$, ZN die Aequatorhöhe des Beobachtungsortes $= 90^0 - \varphi$ und $\Sigma Z N = 180^0 - a$ ist, erhält man:

$$\sin s : \sin a = \sin z : \cos \delta,$$

also
$$\sin s = \frac{\sin a \sin z}{\cos \delta}.$$

Für nördliche Declinationen ist nun nach [6] im §. 128. $z = \varphi - \delta$, folglich, da s und a der obigen Annahme gemäfs immer nur kleine Winkel sind,

$$s = \frac{a \sin (\varphi - \delta)}{\cos \delta} = a (\sin \varphi - \cos \varphi \operatorname{tg} \delta), \qquad [52.]$$

oder, $\sin \varphi - \cos \varphi \operatorname{tg} \delta = m$ gesetzt,

$$s = a \,.\, m. \qquad [53.]$$

Diese Ausdrücke für s haben offenbar auch für Sterne ihre Gültigkeit, die zwischen dem Pole N und dem Zenith Z des Beobachtungsorts durch den Meridian gehen. Für Sterne mit südlicher Declination dagegen wird δ negativ, also

$$s = a (\sin \varphi + \cos \varphi \operatorname{tg} \delta); \qquad [54.]$$

für Circumpolarsterne, die in ihrer unteren Culmination beobachtet werden, wird $180^0 - \delta$ Statt δ zu nehmen sein und daher auch

$$s = a (\sin \varphi + \cos \varphi \operatorname{tg} \delta).$$

Es sei t die Uhrzeit des beobachteten Durchgangs des Sterns S durch den Mittelfaden des Fernrohrs; ferner für einen zweiten, dem Zenith näheren Stern S_1 sei α_1 seine Rectascension, δ_1 seine Declination und t_1 die beobachtete Durchgangszeit; auch werde

$$\sin \varphi + \cos \varphi \operatorname{tg} \delta_1 = m_1$$

gesetzt.

Befände sich nun 1) der Mittelfaden des Instruments im Meridian und gäbe die Uhr die richtige Sternzeit an, so würde

$$t = \alpha \text{ und } t_1 = \alpha_1$$

sein. Gäbe 2) die Uhr zwar die richtige Sternzeit an, zeigte aber der Mittelfaden ein östliches Azimuth a, d. h. würden die Sterne S und S_1 um den Stundenwinkel $s = a \,.\, m$ und $s_1 = a \,.\, m_1$ vor ihrer Culmination beziehungsweise durch den Mittelfaden gehen, so wird die verbefserte Zeit der Beobachtung sein

$$\alpha = t + a \,.\, m,$$
$$\alpha_1 = t_1 + a \,.\, m_1.$$

Wenn aber 3) weder die Uhr die richtige Sternzeit angiebt, noch der Mittelfaden des Fernrohrs im Meridiane sich befindet, so wird der Fehler $\varkappa$ der Uhr durch die Differenz von α und $t + a \,.\, \mathrm{m}$ und von α_1 und $t_1 + a \,.\, m_1$ ausgedrückt werden. Es ist daher, wenn $\varkappa$ positiv genommen wird, sobald die Uhr gegen Sternzeit zu spät geht,

$$\left.\begin{aligned} &\text{für den Stern } S\colon\ x = \alpha - (t + a \,.\, m) \\ &\text{und } \text{„ „ „ } S_1\colon x = \alpha - (t_1 + a \,.\, m_1) \end{aligned}\right\}, \qquad [55.]$$

woraus sich daher das Azimuth a leicht bestimmt. Denn geht 1) der vom Zenith entferntere Stern S zuerst durch das Fernrohr, so ist $\alpha_1 > \alpha$ und daher

$$a = \frac{(\alpha_1 - \alpha) - (t_1 - t)}{m_1 - m} = \frac{(\alpha_1 - t_1) - (\alpha - t)}{m_1 - m} = \frac{(\alpha - t) - (\alpha_1 - t_1)}{m - m_1}. \qquad [56.]$$

Geht aber 2) der dem Zenith nähere Stern S_1 zuerst durch das Fernrohr, so ist $\alpha > \alpha_1$ und dann

$$a = \frac{(\alpha - \alpha_1) - (t - t_1)}{m - m_1} = \frac{(\alpha - t) - (\alpha_1 - t_1)}{m - m_1} = \frac{(\alpha_1 - t_1) - (\alpha - t)}{m_1 - m}, \qquad [57.]$$

für welche Ausdrücke nur zu bemerken ist, dafs α, t und m immer auf den dem Zenith entfernteren Stern S sich beziehen. Ergiebt sich für a ein positiver Zahlenwerth, so ist das Azimuth östlich, für einen negativen aber westlich.

Da nach dem Vorhergehenden $m = \dfrac{\sin\,(\varphi - \delta)}{\cos\,\delta}$ und $m_1 = \dfrac{\sin\,(\varphi - \delta_1)}{\cos\,\delta_1}$

so ist $m - m_1 = \dfrac{\cos\,\varphi\,\sin\,(\delta_1 - \delta)}{\cos\,\delta\,\cos\,\delta_1}$; es ist deshalb am vortheilhaftesten, solche Sterne zu wählen, dafs wo möglich $\delta_1 - \delta = 90^0$ ist, weil dann der in den Ausdrücken [56.] und [57.] in den Nenner tretende Factor $\sin\,(\delta_1 - \delta)$ nahe gleich Eins, und der Zähler $\cos\,\delta\,\cos\,\delta_1$ sehr klein wird. Man verbindet demnach zweckmäfsig α oder δ Ursae minoris mit einem Aequatorsterne, oder einen in der Nähe des Zeniths stehenden mit einem dem Horizonte nahe stehenden Sterne.

Das zu suchende Resultat wird noch an Schärfe gewinnen, wenn man nicht zweier, sondern dreier Sterne sich bedient und von den verschiedenen Werthen das arithmetische Mittel nimmt.

§ 195.

Man kann auch den Werth für a durch Beobachtung eines Circumpolarsterns in seiner oberen und unteren Culmination bestimmen; nur setzt diese Bestimmung während des Zeitraums von 12 Stunden einen möglichst gleichförmigen Gang, oder doch eine Kenntnifs des Ganges der Uhr voraus. Beziehen sich dann α, t und m auf die untere, α_1, t_1 und m_1 auf die obere Culmination, so ist, da nach dem Vorhergehenden

$$m = \sin\,\varphi + \cos\,\varphi\,\text{tg}\,\delta$$
$$m_1 = \sin\,\varphi - \cos\,\varphi\,\text{tg}\,\delta_1$$

und $\alpha - \alpha_1 = 12^h$ ist,

für die obere Culmination

$$a = \frac{12^h - (t - t_1)}{2\,\cos\,\varphi\,\text{tg}\,\delta}, \qquad [58.]$$

und für die untere

$$a = \frac{(t_1 - t) - 12^h}{2\,\cos\,\varphi\,\text{tg}\,\delta}. \qquad [59.]$$

Damit tg δ am gröfsten wird, ist es vortheilhaft, den Polarstern, α Ursae minoris, zur Beobachtung zu wählen.

Zu diesen Bestimmungen bedient man sich immer der s. g. Hauptsterne, für welche in den astronomischen Ephemeriden die Rectascension und Declination von 10 zu 10 Tagen angegeben ist. Der Nautical Almanac hat vor dem Berliner Jahrbuche den Vorzug, dafs ersterer 145 Sterne, letzteres aber nur 44 Sterne enthält. Da aber in den Ephemeriden die von der Polhöhe abhängige tägliche Aberration in Rectascension nicht berücksichtigt ist, so ist Statt α und α_1 für obere Culminationen

$$\alpha + 0^s,021 \frac{\cos \varphi}{\cos \delta}$$

und für untere

$$\alpha - 0^s,021 \frac{\cos \varphi}{\cos \delta}$$

zu setzen. (Vgl. [36.] und [38.] im §. 150.

§. 196

Zur Verbefserung des Azimuths wird man den Zahlenwerth für a noch in das Bogenmafs zu verwandeln haben, um danach an der Mikrometerschraube des Azimuthalkreises die nach West oder Ost vorzunehmende Drehung des oberen Theils des Durchgangsinstruments ausführen zu können.

Beispiel. Für Nov. 13. 1860 ist nach dem Nautical Almanac

AR β Capricorni + 0,04 Aberr. $20^h\ 20^m\ 55^s,71 = \alpha$
Beobachteter Durchgang $20\ \ 20\ \ 26,\ 33 = t$

$\alpha - t = 29^s,38$

AR α Cygni + 0 . 02 Aberr. $20^h\ 36^m\ 41,26 = \alpha_1$
Beobachteter Durchgang $20\ \ 20\ \ 11,33 = t_1$

$\alpha_1 - t_1 = 29^s,93.$

Folglich $(\alpha = t) - (\alpha_1 - t_1) = -0^s,55$

$\delta = -18^0\ 16'\ 15''$; $\delta^1 = +44^0\ 47'\ 23''$

$\sin \varphi = 0,79204$ $\log \cos \varphi = 9,78567$
$+ \cos \varphi \operatorname{tg} \delta = 0,20155$ „ $\operatorname{tg} \delta = 9,51871$
$m = 0,99359$ $\log \cos \varphi \operatorname{tg} \delta = 0,30438 - 1$

$\sin \varphi = 0,79204$ $\log \cos \varphi = 9,78567$
$- \cos \varphi \operatorname{tg} \delta = 0,60603$ „ $\operatorname{tg} \delta_1 = 9,99682$
$m_1 = 0,18601$ $\log \cos \varphi \operatorname{tg} \delta_1 = 0,78249 - 1$

$m - m_1 = 0,80758$

$a = \frac{-0,55}{0,808} = 0^s,6809$ oder 10,21 Sekunden im Bogen,

um welche daher der Index des Verniers des Azimuthalkreises nach Osten hin zu verstellen war.

Bemerkung. Vor der Beobachtung war die Horizontalrotationsachse sorgfältig nivelliert und der Collimationsfehler des Fernrohrs so gering, dafs er ohne Einflufs war.

§. 197.

Ist die Horizontalrotationsachse nicht sorgfältig nivelliert, sondern ist nach §. 192. ihre Neigung

$$\frac{(i_1 - 0{,}5068 \,.\, i_1)\, k}{15} = i,$$

auch der Collimationsfehler durch den südlichen Collimator $= c$ Sekunden bestimmt und wird wieder angenommen, dafs i und c positiv sind, wenn beziehungsweise das westliche Lager zu hoch ist und die Collimationslinie südlich vom Zenith nach Osten abweicht, so setze man, analog den Ausdrücken für m und m_1 im §. 194.

$$n = \frac{\cos(\varphi - \delta)}{\cos\delta} = \cos\varphi + \sin\varphi \operatorname{tg}\delta,$$

$$n_1 = \frac{\cos(\varphi - \delta_1)}{\cos\delta_1} = \cos\varphi + \sin\varphi \operatorname{tg}\delta,$$

worin ebenfalls, wie §. 194. für südliche Declinationen δ oder δ_1 negativ und für untere Culminationen Statt δ oder δ_1 beziehungsweise $180^0 - \delta$ oder $180^0 - \delta_1$ zu nehmen ist. Alsdann ist, wenn α und α_1 die um die tägliche Aberration verbefserten Rectascensionen bezeichnen,

$$\alpha = t + x + a \,.\, m + i \,.\, n + \frac{\delta}{\cos\delta},$$

$$\alpha_1 = t_1 + x + a \,.\, m_1 + i \,.\, n_1 + \frac{\delta}{\cos\delta_1},$$

$$a = \frac{(\alpha - t) - (\alpha_1 - t_1) - i\,(n - n_1) - c\left(\frac{\cos\delta_1 - \cos\delta}{\cos\delta\cos\delta_1}\right)}{m - m_1}.$$

Beobachtet man dagegen beide Culminationen eines Circumpolarsterns, so ist, wenn man wieder α, t, m und n für die untere, α_1, t_1, m_1 und n_1 für die obere Culmination nimmt, für die obere Culmination

$$(\alpha_1 - t_1 - x)\cos\delta = a\sin(\varphi - \delta) + i\cos(\varphi - \delta) + \frac{c}{\cos\delta},$$

und für die untere

$$(12^h + \alpha - t - x)\cos\delta = a\sin(\varphi + \delta) + i\cos(\varphi + \delta) - \frac{c}{\cos\delta},$$

und daher das gesuchte Azimuth

$$a = \frac{12 + t_1 - t + \left[i\cos(\varphi - \delta) - i\cos(\varphi + \delta) + 2\,c\right]\frac{1}{\cos\delta}}{2\cos\varphi \operatorname{tg}\delta}.$$

Beispiel. Für 11. Juli 1860 ist nach dem Nautical Almanac

$$\begin{array}{ll} AR\ \alpha \text{ Virginis} + 0{,}01 \text{ Aberr.} & 13^h\ 17^m\ 55^s{,}25 = \alpha \\ \text{Beobachteter Durchgang} & 13\ \ 17\ \ 53\ ,\ 5 = t \\ \hline & \alpha - t = 1^s{,}75. \end{array}$$

$$\begin{array}{ll} AR\ \eta \text{ Ursae majoris} + 0{,}02 \text{ Aberr.} & 13^h\ 42^m\ 6^s{,}13 = \alpha_1 \\ \text{Beobachteter Durchgang} & 13\ \ 42\ \ 7\ ,\ 80 = t_1 \\ \hline \alpha_1 - t_1 = & -1^s{,}67. \end{array}$$

$$\text{Folglich } \alpha - t - (\alpha_1 - t_1) = +3^s{,}42.$$

$$\delta = -10^0\ 26'\ 22'',41; \qquad \delta_1 = +50^0\ 0'\ 30'',11.$$

$$\begin{array}{rlrl} \sin\varphi &= 0{,}79204 & \log\cos\varphi &= 9{,}78567 \\ +\cos\varphi \operatorname{tg}\delta &= 0{,}11248 & \text{„}\ \operatorname{tg}\delta &= 0{,}26540 \\ \hline m &= 0{,}90452 & \log\cos\varphi\operatorname{tg}\delta &= 0{,}05107 - 1 \end{array}$$

$$\begin{array}{rlrl} \sin\varphi &= 0{,}79204 & \log\cos\varphi &= 9{,}78567 \\ -\cos\varphi \operatorname{tg}\delta_1 &= 0{,}72777 & \text{„}\ \operatorname{tg}\delta_1 &= 0{,}07632 \\ \hline m_1 &= 0{,}06427 & \log\cos\varphi\operatorname{tg}\delta_1 &= 0{,}86199 - 1 \\ \hline m - m_1 &= 0{,}84025 & & \end{array}$$

Die Neigung der Rotationsachse war:

$$\begin{array}{lll} \text{bei } \alpha \text{ Virginis } w &= 36{,}5. & 0 = 36{,}2. \\ w_1 &= 36{,}9. & 0_1 = 35{,}9. \\ \hline \end{array}$$

$$\tfrac{1}{2}(w + w_1) = 36{,}7;\ \tfrac{1}{2}(0 + 0_1) = 36{,}05.$$

$$\tfrac{1}{2}(w + w_1) - \tfrac{1}{2}(0 + 0_1) = +\ 0{,}65.$$

$$\begin{array}{lll} \text{bei } \eta \text{ Ursae majoris } w &= 36{,}9 & 0 = 35{,}9. \\ w_1 &= 36{,}9 & 0 = 35{,}9. \\ \hline \end{array}$$

$$\tfrac{1}{2}(w + w_1) - \tfrac{1}{2}(0 + 0_1) = +\ 0{,}50.$$

Da nun $k = 4^s{,}66$ (§. 24.), so ist

$$\begin{array}{l} \text{für } \alpha \text{ Virginis } i = 0^s{,}101, \\ \text{„ } \eta \text{ Urs. maj. } i = 0,\ 078, \\ \hline \text{also im Mittel } i = 0^s{,}089. \end{array}$$

$$\begin{array}{rlrl} \cos\varphi &= 0{,}61048 & \log\sin\varphi &= 9{,}89875 \\ -\sin\varphi\operatorname{tg}\delta &= 0{,}14593 & \text{„}\ \operatorname{tg}\delta &= 9{,}26540 \\ \hline n &= 0{,}46455 & \log\sin\varphi\operatorname{tg}\delta &= 0{,}16415 - 1 \end{array}$$

$$\begin{array}{rlrl} \cos\varphi &= 0{,}61048 & \log\sin\varphi &= 9{,}89875 \\ +\sin\varphi\operatorname{tg}\delta_1 &= 0{,}94422 & \text{„}\ \operatorname{tg}\delta_1 &= 0{,}07632 \\ \hline n_1 &= 1{,}55470 & \log\sin\varphi\operatorname{tg}\delta_1 &= 0{,}97507 - 1 \end{array}$$

$$n - n_1 = -1{,}09015,$$

$$i(n - n_1) = -0^s{,}097,$$

$$(\alpha - t) - (\alpha_1 - t_1) - i(n - n_1) = 3^s{,}527.$$

$$a = \frac{3^s{,}527}{0{,}84} = 4^s{,}198 = 62'',97 \text{ im Bogen,}$$

um welche mithin der Index des Verniers des Azimuthalkreises nach Westen hin zu verstellen war.

Anmerkung. Der vor der Beobachtung gefundene Collimationsfehler war sorgfältig berichtigt.

§. 198.

4. Der Fehler der Uhr ergiebt sich dann im ersten Falle (§. 194.) durch die Ausdrücke [55.]

$$x = a - (t + a \cdot m)$$
$$x = a_1 - (t_1 + a \cdot m_1),$$

im zweiten Falle (§. 197.) durch die Formeln

$$\left.\begin{aligned} x &= a - \left(t + a \cdot m + i \cdot n + \frac{c}{\cos \delta}\right), \\ x &= a_1 - \left(t_1 + a \cdot m_1 + i \cdot n_1 + \frac{c}{\cos \delta_1}\right). \end{aligned}\right\} \quad [60.]$$

Nach den ersten Formeln erhält man also für das im §. 196. gegebene Beispiel, da $m \cdot a = 0{,}677$ und $m_1 \cdot a = 0{,}127$ ist,

$$x = 55^s{,}71 - (26{,}33 - 0{,}677) = + 30^s{,}057,$$
$$x = 41^s{,}26 - (11{,}33 - 0{,}127) = + 30^s{,}057,$$

d. h. die Uhr retardierte am 13. Nov. 1860 30,057 Sekunden.

Für das im vorigen Paragraphen gegebene Beispiel erhält man

$$x = 55^s{,}24 - (53{,}5 + 3{,}83 - 0{,}06) = - 2^s{,}15,$$
$$x = 6^s{,}11 - (7{,}8 + 0{,}27 - 0{,}02) = - 2^s{,}16,$$

d. h. am 11. Juli 1860 accelerierte die Uhr 2,15 Sekunden.

Hat man nun nach dem Vorhergehenden das Azimuth a bestimmt und an dem Instrumente berichtigt, so findet man bei folgenden Beobachtungen aus der beobachteten Durchgangszeit t eines Sterns, dessen Rectascension α ist, nach den letzteren Ausdrücken die Correction der Uhr und erfährt dadurch auch ihren Gang. Wäre z. B. in Bezug auf das Beispiel des §. 196. bei einer Beobachtung am 20. November die Retardation der Uhr 32,147 Sekunden gefunden, so ist sie in 7 Tagen 2,09 Sekunden vorgeeilt, mithin ihr Gang in $24^h = - 0{,}298$ Sekunden (Acceleration).

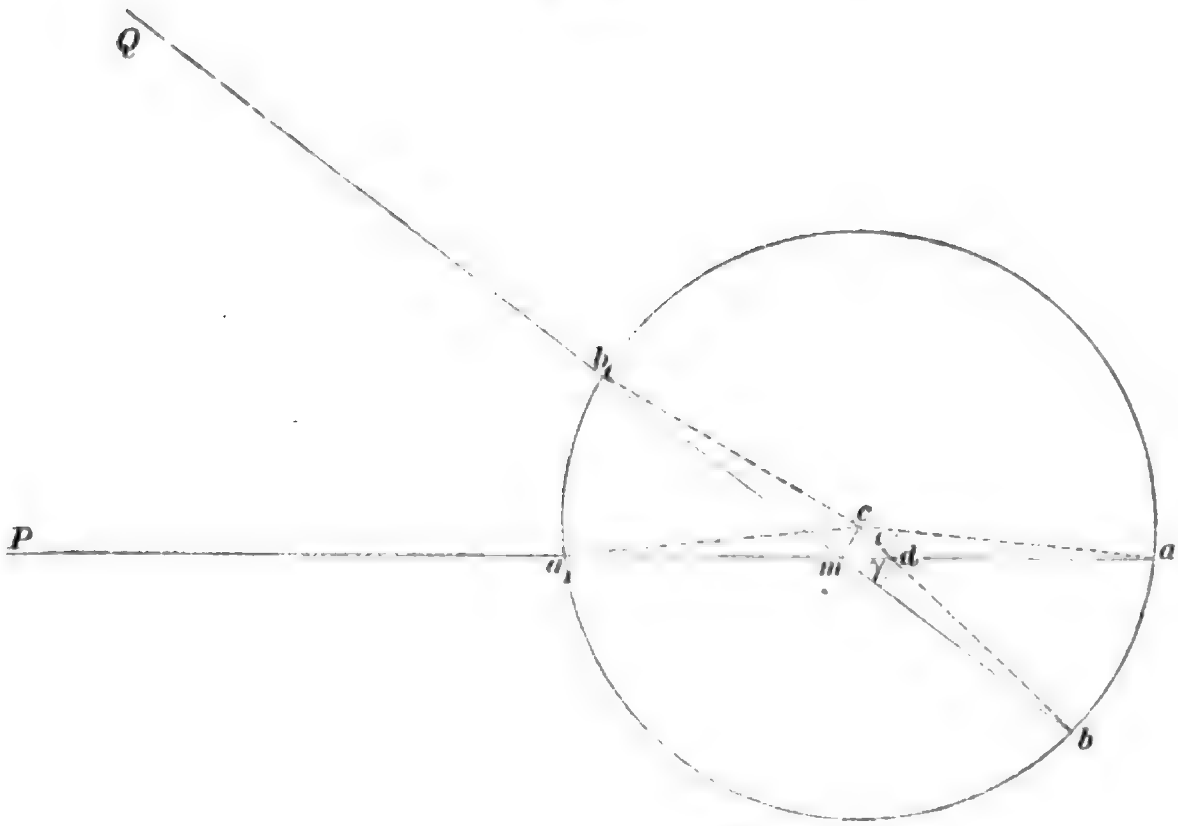
12. Der Excentricitäts- und Theilungsfehler bei getheilten Kreisen.

§. 199.

Ein fast bei allen getheilten Kreisen vorkommender Fehler ist der Excentricitätsfehler, dafs nämlich die mathematische Achse des Verticalzapfens der Alhidade oder des Mikroskopenträgers nicht durch den Mittelpunkt des Limbuskreises geht.

Wird zunächst vorausgesetzt, dafs die Alhidade nur einen Vernier enthält, deren Durchgangspunkt m in Fig. 99. ist, während c den Mittelpunkt des Limbus bezeichnet, so stellt $cm = e$ die Excentricität des Kreises dar. Ist der Winkel

Fig. 99.



zwischen den Objecten P und Q zu bestimmen, wobei Pm auch die Horizontale bei einem Verticalkreise bezeichnen kann, so wird bei der Einstellung des Fernrohrs auf die Objecte P und Q, oder bei der Drehung der Alhidade nach P und Q, die Gröfse des Winkels $PmQ = amb = \gamma$ sein, durch die Ablesung des Verniers bei a und b aber der Winkel $acb = c$ erhalten, welcher nur dann das Mafs des Winkels γ ist, wenn m in c liegt. Der durch die Excentricität veranlafste Fehler f ist daher $= \gamma - c$. In den Dreiecken cda und mdb ist nun

$$\gamma + b = c + a,$$

$$\text{folglich } f = \gamma - c = a - b.$$

Wegen der, selbst bei weniger guten Instrumenten, nur sehr geringen Excentricität, kann man $ma = mb$ dem Halbmesser r des Limbuskreises gleich setzen; bezeichnet man nun den Winkel acm durch φ, so erhält man aus den Dreiecken cma und cmb

$$\sin a = \frac{e}{r} \sin \varphi,$$

$$\sin b = \frac{e}{r} \sin (\varphi - c),$$

oder, wegen der Kleinheit der Winkel a und b, und wenn $\frac{e}{r}$ 206265 Sekunden $= \varepsilon$ gesetzt wird,

$$a = \varepsilon \sin \varphi,$$
$$b = \varepsilon \sin (\varphi - c),$$
$$\text{folglich ist } f = \varepsilon\,[\sin \varphi - \sin (\varphi - c)],$$
$$\text{oder } f = 2\,\varepsilon\,[\sin {}^1\!/_2\, c \cos (\varphi - {}^1\!/_2\, c)]. \qquad [61.]$$

Wäre also der Winkel φ und aufserdem e bekannt, oder an dem Instrumente zu bestimmen, so würde sich f berechnen lafsen. Da das aber nicht der Fall ist, so kann die letztere Gleichung nur dazu dienen, über die Gröfse des Fehlers einen Aufschlufs zu erhalten, wenn man für φ und e bestimmte Werthe annimmt; indessen zeigt dieselbe doch schon, dafs wegen des grofsen Factors ε $\left(= \frac{e}{r} \cdot 206265 \text{ Sekunden}\right)$ der Fehler doch beträchtlich werden kann, selbst wenn e nur ein kleiner Theil von r ist. Denn setzt man $\varphi - {}^1\!/_2\, c = 90^0$ oder $= 270^0$, so wird, da dann $\cos (\varphi - {}^1\!/_2\, c) = 0$ ist, $f = 0$, also $\gamma = c$; setzt man aber $\varphi - {}^2\!/_2\, c = 0$ oder $= 180^0$, so wird f, da dann $\cos (\varphi - {}^1\!/_2\, c) = 1$ ist, seinen gröfsten Werth erreichen.

§. 200.

Um nun die Kenntnifs der Excentricität entbehren zu können und um sie nicht bei jedem gemefsenen Winkel in Rechnung bringen zu müfsen, setzt man die Albidade entweder aus zwei diametral gegenüberstehenden Armen oder aus einem ganzen Kreise zusammen und bringt an jedem Ende des Durchmefsers, der durch den Drehungspunkt der Albidade geht, einen Vernier zum Ablesen der eingestellten Richtungen an. Dann ist das arithmetische Mittel der aus der Ablesung beider Verniere sich ergebenden Werthe dem von dem Excentricitätsfehler vollständig befreieten Winkelwerthe gleich. Denn es ist $PmQ = \gamma =$

$${}^1\!/_2\,(acb + a_1cb_1) \text{ oder } \gamma = {}^1\!/_2\,(\text{arc} \,.\, \text{arc} + ac \,.\, a_1\, b_1), \qquad [62.]$$

Bei den gröfseren Instrumenten bringt man immer 2 Paar solcher Verniers oder Statt ihrer eben so viele Schraubenmikroskope an dem Mikroskopenträger an, die nur um eine sehr kleine Gröfse gegen 90^0 von einander verschieden sein werden.

Aus demselben Grunde kann auch mit einem nur einen Vernier enthaltenden Kreise ein Winkel zwischen zwei Objecten nur dann frei von der Excentricität gemefsen werden, wenn man nach der ersten Ablesung die mit dem Fernrohr verbundene Albidade um 180^0 verstellt, das Fernrohr durchschlägt, den Winkel mittelst des Verniers zum zweiten Male bestimmt und von beiden Resultaten das arithmetische Mittel nimmt.

§. 201.

Stellt man nun den Index des einen Verniers oder Schraubenmikroskops genau auf einen Theilstrich des Limbus und liest auch den Stand des anderen Verniers oder Schraubenmikroskops ab, so würde das arithmetische Mittel aus

dem einen Paar, von dem Mittel der anderen für alle Einstellungen auf andere Theilstriche des Limbus um eine Constante λ verschieden sein müfsen, wenn es aufser dem Excentricitätsfehler keine Theilungs- und Ablesungsfehler gäbe, von welchen die ersteren in gröfserem oder geringerem Mafse bei jedem eingetheilten Limbus vorausgesetzt werden müfsen. Da aber jene Fehler zu den unvermeidlichen oder zufälligen Fehlern gezählt werden müfsen, so werden insbesondere die Theilungsfehler durch eine periodische Reihe von der Form

$$a + a_1 \cos A + a_2 \cos 2A + \ldots .$$
$$+ b_1 \sin A + b_2 \sin 2A + \ldots .$$

worin A die Ablesung an dem einzelnen Vernier oder Schraubenmikroskope bezeichnet, dargestellt werden und man wird deshalb mit vieler Wahrscheinlichkeit annehmen können, dafs beide Arten der Fehler in gleicher Zahl positiv und negativ sein und daher bei dem Ablesen an mehreren Verniers oder Schraubenmikroskopen zum grofsen Theil sich aufheben werden. Hierin besteht daher auch der wesentliche Nutzen von mehreren Paaren von Verniers oder Schraubenmikroskopen.

§. 202.

Ob die Länge des Verniers richtig ist, erfährt man, wenn man den Index desselben nach und nach auf verschiedene Striche des Limbus einstellt und die Anzahl der Minuten und Sekunden abliest, welche dem letzten Hauptstriche (d. h. dem $n + 1$ten nach dem 0ten) auf dem Vernier bei jeder Einstellung entsprechen. Nimmt man dann das arithmetische Mittel aller dieser Ablesungen, so ist dafselbe die wahre Länge des Verniers.

Bezeichnet man daher die fehlerhafte Länge des Verniers durch $\pm \Delta\lambda$, so ist nach §. 62.

$$nl = (n + 1)\, v \pm \Delta\lambda,$$

und man hat daher jeder Ablesung des Verniers, wenn der $q$te Strich nach dem Index mit einem Striche des Limbus coincidiert, beziehungsweise den Werth

$$\mp \frac{q}{n+1}\, \Delta\lambda$$

zuzusetzen.

Wäre z. B. bei einem Limbus, der in Sechstelgrade getheilt ist und dessen Verniers 10 Sekunden angeben, $\Delta\lambda = 5$ Sekunden zu klein gefunden, so würde, wenn der 40ste Strich des Verniers coincidierte, Statt 6′ 40″ zu nehmen sein: $6' \, 40'' + \frac{40}{60} \, 5''$ oder 6′ 43″,33 . . .

Anmerkung. 1. Gründlichere Untersuchungen über die Excentricitäts- und Theilungsfehler der eingetheilten Kreise findet man u. a. in

Brünnow's Lehrbuch der sphärischen Astronomie. Berlin, 1851 S. 438.

Sawitsch Abrifs der praktischen Astronomie. Uebers. von Götze, Hamburg, 1850 I. S. 214.

und über die Bestimmung der Theilungsfehler der Kreise insbesondere in

den astronomischen Beobachtungen auf der Sternwarte in Königsberg von Bessel. Bd. VII

2. Da die hier geführten Untersuchungen auf jeden eingetheilten Kreis ihre Anwendung finden, so soll von ihnen bei den später beschriebenen Winkelmefsern weiter keine Rede sein.

16*

13. Berichtigung der Versicherungslibelle am Mikroskopenträger des Verticalkreises und Bestimmung ihres Ausschlages.

§. 203.

Würde das Versicherungsniveau an dem Rande des Limbus- oder Alhidadenkreises des Verticalkreises mittelst einer Klemmschraube befestigt, wie diefs durch die Construction der Fig. 10. dargestellt ist, so würde vor jeder Einstellung des Fernrohrs auf ein Höhenobject die Luftblase mittelst der Elevationsschraube M zum Einspielen gebracht und dann selbstverständlich die Libelle, aufser der im §. 23. angegebenen Untersuchung, keiner Prüfung und Berichtigung bedürfen.

Da aber die Versicherungslibelle O in Fig. 88. an dem einen Querriegel des Mikroskopenträgers mittelst zweier Sättel befestigt ist, so mufs, nachdem die Verticalachse des Durchgangsinstruments vertical und die Luftblase mittelst der Mikrometerschraube f_1 (Fig. 88.) eingestellt ist, bei einer Horizontalbewegung des Obertheils des Instruments die Luftblase ihren Stand unverändert beibehalten.

Für diese Prüfung bringe man den Verticalkreis in eine mit dem einen Arme des Dreifufses parallele Lage und bringe die Luftblase durch die Mikrometerschraube f_1 zum Einspielen. Dreht man nun den Obertheil um 180° herum und verändert dabei die Luftblase ihren Stand, so wird die eine Hälfte der Abweichung an der genannten Mikrometerschraube f_1, die andere Hälfte an der Correctionsschraube der Libelle verbefsert. Dafselbe Verfahren wird bei einer Lage des Obertheils des Instruments wiederholt, welche gegen die erstere normal ist.

§. 204.

Erst nach dieser Berichtigung kann aus dem Stande der Luftblase auf die richtige oder unrichtige Lage des auf ein gegebenes Gestirn eingestellten Fernrohrs gegen den bereits bestimmten Zenith- oder Horizontpunkt geschlofsen werden.

Wenn indessen aus irgend einer Ursache durch die Drehung des Verticalkreises eine Verstellung des Mikroskopenträgers Statt findet, so mufs man diese Veränderung durch die entsprechende Verstellung der Luftblase des Versicherungsniveau's mefsen und in Rechnung bringen können. Deshalb mufs aber der Ausschlag der Libelle entweder möglichst genau bekannt sein, oder auf folgende Weise bestimmt werden.

Gegen den durch die Prefsschraube p (Figg. 87. u. 88.) festgestellten Verticalkreis bringe man durch Lösung der Klemmschraube q und der Prefsschraube r_1 die Luftblase der Libelle so an das eine, etwa an das rechtsliegende Ende der Scale der Glasröhre, dafs beide Enden der Blase sichtbar sind und lese ihren Stand, zur Bestimmung der Mitte der Blase, ab. Dabei wird man die Schraube r_1 wieder anzuziehen und die Mikrometerschraube f_1 anzuwenden haben. Nach-

dem noch die Indices der Trommeln der Schraubenmikroskope auf ihre Nullpunkte gestellt sind, bestimme man nach dem im §. 205 anzugebenden Verfahren, worüber auch §. 66. 2. zu vergleichen ist, den Stand der Schraubenmikroskope in Trommeltheilen.

Nun löse man wieder die Prefsschraube r_1 und bringe durch Drehung des Mikroskopenträgers gegen den noch festgestellten Verticalkreis die Luftblase an das links liegende Ende der Scale, bestimme, wie vorhin, sowohl den Stand der Mitte der Blase durch Ablesung ihrer Enden, als auch den Stand der Schraubenmikroskope in Trommeltheilen. Dadurch erfährt man nicht nur die Zahl n der Theilstriche, welche die Mitte der Blase durch die Drehung des Mikroskopenträgers durchlaufen hat, sondern kann auch nach dem im §. 156. für die einzelnen Mikroskope angegebenen Bogenmafse, die Trommeltheile auf das Bogenmafs reducieren und dadurch wieder das Mittel m des auf dem Verticalkreise durchlaufenen Bogens in Sekunden bestimmen. Dann ist offenbar der Ausschlag der Libelle $a = \frac{m}{n}$.

Zur Bestimmung eines zweiten Werthes für a ziehe man die Klemmschraube q an und löse die Prefsschraube r_1, so wird der Mikroskopenträger so an den Verticalkreis geschlofsen, dafs beide Theile, nachdem auch die Prefsschraube p gelöst ist, so gedreht werden können, dafs der Endpunkt des Bogens der ersten Mefsung zum Anfangspunkte der folgenden wird und die Luftblase der Libelle an das rechts liegende Ende der Scale gelangt. Die Einstellung des Index des Verniers auf einen bestimmten Strich der Kreistheilung kann dann durch Anwendung der Mikrometerschraube q_1 erreicht werden, wobei aber selbstverständlich wieder beide Enden der Blase sichtbar bleiben müfsen. Indem man nun wieder, wie anfangs, die Mitte der Blase bestimmt und den Stand der Schraubenmikroskope in Trommeltheilen abliest; darauf den Verticalkreis durch Anziehung der Prefsschraube p wieder feststellt und den Mikroskopenträger allein wieder so dreht, dafs die Luftblase an das links liegende Ende der Scale gelangt u. s. w., so erhält man einen zweiten Werth für $a = \frac{m_1}{n_1}$.

Durch Wiederholung dieses Verfahrens kann man deren mithin so viele bestimmen, als man will und hat dann von allen noch das arithmetische Mittel zu nehmen.

Bei der Untersuchung des Versicherungsniveau's des in Rede stehenden Durchgangsinstruments, deren Resultate auf der folgenden Seite angegeben sind, wurden bei den genannten Drehungen, Intervalle von drei und vier Minuten genommen, die an dem Vernier des Verticalkreises eingestellt wurden.

Anmerkung. Uebrigens kann man den Ausschlag der Libelle auch durch den in Fig. 4 dargestellten Hülfsapparat bestimmen; nur fordert diefs ein Abnehmen und Wiederaufsetzen der Libelle.

Stand des Verniers	Libellentheile. Ende der Luftblase Rechts	Links	Mitte	Zahl der Theilstriche	Theile der Trommel des Mikroskops 1	2	3	4	Reduction der Trommeltheile auf das Bogenmafs des Mikroskops*) 1	2	3	4	Mittel des durchlaufenen Bogens Sekunden	Ausschlag der Libelle.
0°	39,75	16,75	28,25	53	− 6,3	+ 18,1	− 1,8	+ 1,8						
3′	13,25	36,25	24,75		+ 11,7	+ 39,4	+ 20,5	+ 22,6						
				Unterschied	18,0	21,3	22,3	20,8	26,69	31,12	33,58	31,24	210,66	$\frac{210,66}{53}$ = 3,98″
3′	38,75	15,5	27,125	54	+ 10,2	+ 39,6	+ 20,4	+ 19,1						
6′	15,25	38,5	26,875		+ 22,6	+ 55,3	+ 32,0	+ 34,8						
				Unterschied	12,4	15,7	11,6	15,7	18,38	22,94	17,46	23,58	201,09	$\frac{201,09}{54}$ = 3,72″
6′	38,5	15,5	27,0	54	+ 21,1	+ 53,8	+ 30,0	+ 32,2						
10′	15,5	38,5	27,0		+ 31,4	+ 62,5	+ 40,3	+ 38,5						
				Unterschied	10,3	8,7	10,3	6,3	15,27	12,71	15,51	9,46	253,24	$\frac{253,24}{54}$ = 4,69″
10′	38,25	15,0	26,625	52,75	+ 33,0	63,4	40,1	38,2						
13′	14,25	38,0	26,125		44,8	81,2	52,2	59,7						
				Unterschied	11,8	17,8	12,1	21,5	17,50	26,01	18,22	32,29	203,50	$\frac{203,50}{52,75}$ = 3,86.
														Mittel = 4,06″.

*) Nach §. 156. ist ein Trommeltheil
für das Mikroskop 1 = 1,4825 Sekunden.
„ „ „ 2 = 1,461 „
„ „ „ 3 = 1,5055 „
„ „ „ 4 = 1,502 „

14. Mefsung der Zenithdistanz eines Gestirns.

§. 205.

Obgleich das in den Figg. 87. und 88. dargestellte Durchgangsinstrument die Mefsung der Verticalwinkel sowohl terrestrischer Höhenobjecte, als auch der Gestirne gestattet, so ist es doch seiner Gröfse und daher weniger bequemen Transportierung wegen vorzugsweise zur Bestimmung der Höhen der Gestirne geeignet, daher in dem Nachfolgenden auf letztere auch nur allein Rücksicht genommen werden soll. Wenn ferner auch nach den unter 6. (§. 178.) angestellten Untersuchungen der Zenith- oder Horizontpunkt des Verticalkreises als bekannt angenommen werden kann, so soll doch hier auf die Kenntnifs derselben nicht Rücksicht genommen werden; auch soll, da die Höhenwinkel sogleich aus den Zenithdistanzen sich ergeben, nur die Mefsung der Zenithdistanzen der Gestirne berücksichtigt werden. Da endlich auch die zu mefsenden Zenithdistanzen der Gestirne sowohl auf der Nord- als auf der Südseite des Zeniths liegen können, so mag angenommen werden, dafs der zu beobachtende Stern, etwa α Ursae minoris in seiner oberen Culmination, auf der Nordseite des Zeniths liegt.

Es werde vorausgesetzt, dafs das Durchgangsinstrument in seinen Theilen sorgfältig geprüft ist, die Fehler defselben möglichst berichtigt sind und die Verticalachse vertical gestellt ist, so dafs angenommen werden darf, dafs die Collimationslinie des Fernrohrs einen Verticalkreis der Himmelskugel beschreibt.

Vor dem Einstellen des Fadenkreuzes des Fernrohrs auf das Höhenobject ist bei den vier Schraubenmikroskopen das im §. 65. (Fig. 44.) erwähnte Stiftchen durch Umdrehung der Mikrometerschraube auf die Mitte des kleinen Rechens und zugleich der Nullpunkt der Trommeltheilung auf den Index derselben zu stellen, über die Einstellung des Fadenkreuzes des Schraubenmikroskopes auf den zugehörigen Strich des Limbus §. 66. 2. zu vergleichen und das daselbst Bemerkte sorgfältig zu erwägen.

Nachdem man nun nach §. 122. die Culminationszeit des zu beobachtenden Sterns berechnet und das Fernrohr auf die ebenfalls berechnete Höhe (§. 128.) eingestellt hat, bringt man den Verticalkreis auf die Ostseite des Pfeilers, und den Index des einen Verniers am Azimuthalkreise auf den Strich der Theilung, der dem Azimuth Null entspricht. Darauf bringt man die Luftblase des Versicherungsniveaus auf die Mitte der Scale, oder liest die beiden Enden derselben ab, stellt durch Anwendung der Druckschraube p und der Mikrometerschraube f (Figg. 87. und 88.) die Mitte des zwischen den beiden Horizontalfäden liegenden Stücks des Meridianfadens auf den Stern ein, liest am Vernier des Verticalkreises die abgeschnittenen Grade und Sechstelgrade $= a$ ab und bestimmt an den vier Schraubenmikroskopen M_1, M_2, M_3 und M_4 die Abstände m_1, m_2, m_3 und m_4 des Fadenkreuzes von den entsprechenden Strichen (§. 66. 2.) des Limbus, wobei auch selbstverständlich die etwaigen ganzen Umgänge der Trommel mit zuzuzählen sind. Nun dreht man den Obertheil des Instruments um 180°, wodurch also der

Verticalkreis auf die Westseite kommt, bringt ihn wieder in den Meridian, schlägt das Fernrohr durch und stellt denselben Punkt des Meridianfadens wieder auf den Stern ein. Dann bestimme man wieder die Lage der beiden Enden der Luftblase des Versicherungsniveau's, lese am Vernier die Grade und Sechstelgrade $= a$ ab und bestimme an den Schraubenmikroskopen, wie vorhin, die Abstände μ_1, μ_2, μ_3 und μ_4. Indem man nun m_1 und μ_1 mit 1,4825, m_2 und μ_2 mit 1,461, m_3 und μ_3 mit 1,506 und m_4 und μ_4 mit 1,502 multicipliciert (§. 156.), welche Produkte, der Einfachheit wegen, wieder mit $m_1, m_2 \ldots . \mu_1, \mu_2 \ldots .$ bezeichnet werden mögen, so ist die scheinbare Zenithdistanz des Sterns

$$z_1 = \frac{[\alpha + (\mu_1 + \mu_2 + \mu_3 + \mu_4)] - [a + (m_1 + m_2 + m_3 + m_4)]}{2 \cdot 4}$$

wenn das Versicherungsniveau unverändert geblieben ist.

Sollte der Minuend des obigen Ausdrucks kleiner als der Subtrahend sein, so mufs zu ersterem 360^0 addiert werden.

Hat aber nach der zweiten Einstellung auf den Stern eine Veränderung der Luftblase sich gezeigt, so mufs die Verstellung ihrer Mitte gegen die Mitte der Scale in Sekunden ausgedrückt und dieser Werth im additiven oder subtractiven Sinne dem Werthe $\alpha + (\mu_1 + \mu_2 + \mu_3 + \mu_4)$ zugesetzt werden, um die Ablesung zu erhalten, bei welcher die Mitte der Blase in der Mitte der Scale sich befindet. Die eine Hälfte der letzteren entspricht daher der additiven, die andere der subtractiven Correction, weshalb es zweckmäfsig ist, auf der Mefsingfafsung der Röhre, die erste mit +, die andere mit — zu bezeichnen. Da nun bei dem in Rede stehenden Durchgangsinstrumente, wenn dessen Verticalkreis an der Westseite sich findet, durch die Hebung des rechts liegenden (südlichen) Endes der Blase auch zugleich der an der Büchse des Mikroskopenträgers befestigte Rahmen des Verniers sich hebt, also einen kleineren Werth α ergeben würde, so ist die südliche Hälfte der Röhre mit +, die nördliche also mit — zu bezeichnen. Wären also in der ersten Lage des Instruments die Enden der Luftblase um gleiche Theile $n = s$ vom Nullpunkte entfernt, stände aber in der zweiten Lage das südliche Ende beim Striche s_1, wobei $s_1 > s$ sein soll, so würde $\frac{s_1 - s}{2} \cdot k$ dem obigen Werthe $\alpha + (\mu_1 + \mu_2 + \mu_3 + \mu_4)$ zuzusetzen sein, wenn k den im §. 204. bestimmten Ausschlag eines Libellentheiles $= 4{,}06$ Sekunden bezeichnet.

§. 206.

Zur Bestimmung der wahren Zenithdistanz bedarf es nun noch der Kenntnifs der Refraction, wozu nach §. 141. u. f. der zeitige Barometerstand, sowie die Temperatur der Luft und des Quecksilbers beobachtet werden mufs. Da im §. 142. das Verfahren gelehrt worden ist, wie man die mittlere und daraus die

wahre Refraction $= \rho$ bestimmt, so mag hier nur noch bemerkt werden, dafs dann die wahre Zenithdistanz des Sterns

$$z = z_1 + \rho \qquad \text{ist.}$$

Anmerkung. Bei der im Vorhergehenden angegebenen Bestimmung der Zenithdistanz ist angenommen, dafs sowohl die Horizontalrotationsachse des Fernrohrs horizontal, als auch der Collimationsfehler des Fernrohrs gleich Null ist. Treffen diese Annahmen nicht zu, so wird für sehr kleine Zenithdistanzen allerdings eine Correction anzubringen sein, die aber schon bei solchen, die gröfser als 10° sind, vernachläfsigt werden kann. Man vergleiche in dieser Hinsicht die schon genannten Werke von Brünnow und Sawitsch.

§. 207.

Bezeichnet man die Ablesung in der ersten Lage des Instruments, wobei der Kreis an der Ostseite lag, durch O, die in der zweiten durch W, so ist die zweite Ablesung gröfser als die erste und daher

die scheinbare Zenithdistanz $z_1 = \dfrac{W - O}{2}$; [63.]

dann ist der Ort des Zeniths $z_0 = \dfrac{W + O}{2}$. [64.]

Ist aber bei der Mefsung der Verticalkreis zuerst an die Westseite, bei der zweiten Lage aber an die Ostseite des Pfeilers gebracht, so ist, da in der letzteren Lage bei dem mit dem durchgeschlagenen Fernrohr sich drehenden Verticalkreise immer mit niedrigeren Theilungsziffern bezeichnete Stellen an den festliegenden Vernier gelangen, die erste Ablesung gröfser, als die zweite und deshalb die gesuchte Zenithdistanz ebenfalls

$$z_1 = \frac{W - O}{2}.$$

In Bezug auf die Verbefserung durch die Libellentheile des Versicherungsniveau's ist zu bemerken, dafs das rechtsliegende, jetzt also nördliche Ende der Röhre ebenfalls + bleibt.

Die Einrichtung des Manuals und die Berechnung zeigt das folgende auf die obere Culmination von α Ursae minoris bezogene Beispiel.

Lage des Kreises	Vernier-Angabe		Abgelesene Trommeltheile des Schraubenmikroskops				Trommeltheile im Bogenmafs				Mittelwerth des Bogens	Winkel		
	Gr.	M.	1	2	3	4	1 (Sekunden)	2	3	4	Sek.	Gr.	M.	S.
W	306	16	12,4	15,7	11,6	15,7	18,38	22,94	17,46	23,58	21,09	306	16	21,09
O	234	1	11,8	17,8	12,1	21,5	17,5	26,01	18,22	32,29	23, 5	234	1	23, 5
											$W - O =$	72	14	57,59
											$\frac{1}{2}(W - O) =$	36	7	28,79

B. Die Universal-Instrumente.

§. 208.

Dem im §. 115. angegebenen Begriffe zufolge mufs das Universal-Instrument nicht nur für Horizontal-, sondern auch für Vertical-Winkelmefsungen ein zweifaches Achsensystem seiner Kreise enthalten (wie es auch die Idee seines Erfinders, Reichenbach, war), aufserdem auch in Bezug auf die Verticalwinkelmefsungen, die Beobachtung der Gestirne in allen Lagen derselben mit Sicherheit und Bequemlichkeit gestatten.

Man kann zwei wesentlich verschiedene Constructionen derselben von einander unterscheiden. Entweder dient das nämliche Kreissystem nebst dem Fernrohr sowohl zur Horizontal- als auch zur Verticalwinkelmefsung; oder das Instrument hat zwei verschiedene, von einander getrennte Doppelachsensysteme der Kreise, von denen das eine nur für Horizontal-, das andere nur für Verticalmefsungen angewandt wird.

Bei der ersteren Construction wird das Kreissystem nebst Zubehör für Horizontalmefsungen mit einem Dreifufs, für Verticalmefsungen aber mit einer auf einem anderen Dreifufs ruhenden Säule in Verbindung gebracht, welche zugleich den für die Bestimmung der Azimuthe nöthigen Azimuthalkreis enthält. Diese Construction, welche von Einigen auch „astronomischer Theodolith" genannt wird, zeigen die Figg. 100. und 101.

Bei der zweiten Construction wird auf die nämliche Art, wie bei dem in den Figg. 87. und 88. dargestellten Durchgangsinstrumente, mit den Stützen der Alhidade des Horizontalkreises, der aber in dieser Zusammensetzung auch nur zu Azimuthalbestimmungen dient, das Verticalkreissystem nebst Fernrohr verbunden, während für eigentliche Horizontalwinkelmefsungen das erwähnte Verticalkreissystem von dem anderen getrennt, und durch ein meistens kleineres Fernrohr ohne Höhenkreis vertreten wird, deshalb aber auch für Horizotalmefsungen mehr Bequemlichkeit gewährt. Diese Construction, die man in neuerer Zeit meistens nur anwendet, zeigen die Figg. 102. und 103.

Beide Apparate sind im Drittel der natürlichen Gröfse dargestellt.

1. Das ältere Universal-Instrument von Breithaupt.

§. 209.

Von diesem, im Allgemeinen nach Reichenbachs Angabe ausgeführten Winkelmefser zeigt die nebenstehende Fig. 100. die Zusammensetzung als Höhenapparat, Fig. 101. die Zusammensetzung als Azimuthalapparat. Er ist von Breithaupt in Cassel angefertigt.

Die Grundlage des Höheninstruments ist ein starker Dreifufs AA nebst seinen Stellschrauben, in dessen Mitte ein fast 12 Zoll langer stählerner Verticalzapfen aa mittelst der Scheibe a_1 befestigt ist. Um ihn läfst sich die an

ihrem oberen und unteren Ende im Innern mit konischen Büchsen versehene abgestumpft-kegelförmige Säule *B* drehen, und durch diese dem auf derselben befestigten Verticalkreissysteme nebst Zubehör eine Horizontalbewegung ertheilen.

An dem unteren Ende trägt die Säule die Alhidade *b* des Azimuthalkreises *C*, der mit dem Dreifufs fest verbunden ist und daher keine Drehung gestattet. Zur Hemmung der Horizontalbewegung dient der geschlofsene Ring b_1 mit einer Druckschraube. An der einen Seite läuft der Ring in 2 Arme b_2 (von denen nur der eine sichtbar ist) zur Aufnahme der Klemmen der Mikrometerschraube b_3 aus. Das Anziehen und Lösen der Druckschraube wird durch einen Stahlstift b_4 bewirkt, der in die Vertiefungen des Kopfes der Druckschraube gesteckt wird. Der Kreis ist unmittelbar in Sechstel Grade getheilt; seine vier Verniers geben 10 Sekunden an; der Loupenring, um die Säule *B* drehbar, trägt an seinen 2 Armen Loupen *c* mit Blendrahmen.

§. 210.

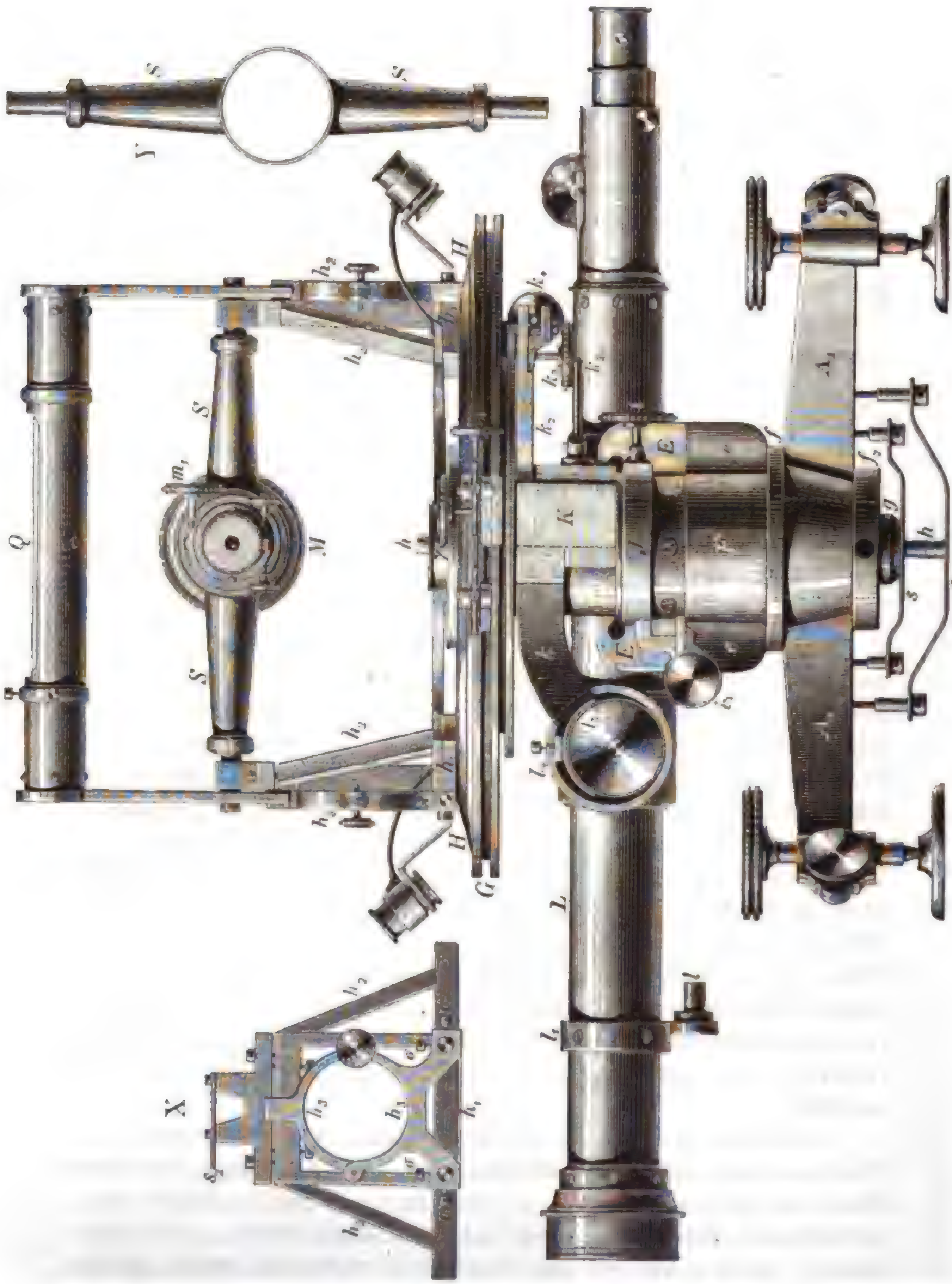
Das obere Ende der Säule trägt eine Platte *DD*, in der seitwärts stehenden Figur im Grundrifs dargestellt, auf welcher durch 3 Zugschrauben δδδ, von denen aber die dritte nicht sichtbar ist, das erwähnte Verticalkreissystem nebst Zubehör durch die Lagerplatte *E* befestigt wird. Als Lagerpunkte dienen zwei in *D* befestigte Halbcylinder *dd* von Stahl und die verstellbare Mutter d_1, deren Schraube durch *D* hindurchgeht.

Zur Aufnahme der Zugschrauben δδδ sind die genannten Lagerpunkte durchbohrt, während ihre Muttern in *E* eingeschnitten sind. Das obere Ende des Verticalzapfens umfafst eine hinreichend starke stählerne, plattenförmige Druckfeder d_2, welcher mittelst zweier Schräubchen $d_3 d_3$ eine solche Spannung ertheilt werden kann, dafs die Alhidade mit ihren Verniers gegen den Limbus die zum genauen Ablesen erforderliche Lage hat. Zugleich wird durch diese Einrichtung die ganze Last des Obertheils des Apparats auf die Verticalachse verlegt.

Durch zwei cylindrisch ausgeschweifte Seitenflügel *ee* (siehe auch Fig. 101) ist die Lagerplatte *EE* mit der äufseren Büchse *F*, welche die beiden Achsen des Verticalkreises aufnimmt, fest verbunden. An das rechtsliegende Ende der Büchse *F* legt sich die cylindrische, ausgebohrte Platte *f*, welche auf den Dreifufs des Azimuthalapparats (Fig. 101.) zu liegen kommt, während der nun folgende Theil f_1, dessen rechtsliegendes Ende in ein Schraubengewinde ausläuft und die Mutter f_2 trägt, von der Ausbohrung des in Fig. 101. dargestellten Dreifufses aufgenommen wird.

Aus den erwähnten Büchsen tritt die durchbohrte Achse *g* des Limbuskreises *G* und aus dieser endlich der Stahlzapfen *h* der Achse der Alhidade *HH* hervor. Durch eine aufgeschraubte Mutter g_1 (Fig. 100.) und eine vorgesteckte kugelcalottenförmige Feder werden beide Achsen zusammengehalten. An die linke Seite der Büchse *f* legt sich über dieselbe der geschlofsene Ring *J*, der die

Fig. 101.



Prefsschraube i (Fig. 101.) und die Mikrometerschraube i_1 zur Hemmung und feinen Einstellung der Kreisachse g enthält. An ihn legt sich dann noch die aus zwei Stücken bestehende und durch vier Zugschrauben zusammengefügte Büchse K, deren eine Hälfte in einen gebogenen Arm k (Fig. 101.) ausläuft, welcher die Büchse k_1 (Fig. 100.) für das s. g. untere Fernrohr L des Azimuthalinstruments enthält. Auf der anderen Hälfte ist ebenfalls mittelst vier Zugschrauben der Arm k_2 befestigt, an welcher die Klemmschraube k_3 und die Mikrometerschraube k_4 des Mikrometerwerks für die Hemmung und Mikrometerbewegung des genannten Fernrohrs sich findet. In Bezug auf diefs Fernrohr vergleiche man §. 85. und Fig. 61. und in Bezug auf das Mikrometerwerk §. 99. und Figg. 72. u. 73.

An zwei diametral gegenüberliegenden Stellen der Alhidade H sind die Lager $h_1 h_1$ für die Stützen $h_2 h_2$ (Fig. 101.) des Hauptfernrohrs M in der Zusammensetzung des Apparats als Horizontalwinkelmefser befestigt, wie aus Fig. 61. erkannt werden kann. In der vorliegenden Zusammensetzung des Apparats als Höheninstrument sind zur Aufnahme des Hauptfernrohrs an die genannten Lager $h_1 h_1$ zwei ringförmige, halb zu öffnende und durch einen Stift zu schliefsende Lager $h_3 h_3$ mittelst Schrauben befestigt, wie diefs die seitlich stehende Ansicht in Fig. 101. zeigt. Um die mathematische Achse dieser ringförmigen Lager parallel dem Verticalkreise GH stellen zu können, ist das eine derselben mit Correctionsschrauben $\sigma\sigma_1\sigma\sigma_1$ versehen. Das Hauptfernrohr enthält ein prismatisches Ocular m (Fig. 100.); die Bewegung des Auszuges geschieht durch ein Getriebe mit Zahnstange, dessen Kopf m_1 ist. Zum Befestigen des Fernrohrs in seinen Lagern ist von demselben in seiner sonstigen Verbindung mit der Drehungsachse SS (Fig. 101) zunächst der Getriebekopf m_1 durch Lösung der zugehörigen Schräubchen zu entfernen und von demselben die erwähnte Drehungsachse abzuschieben (s. Y in Fig. 101.). Dann steckt man die Ocularröhre, nachdem die Stifte ausgezogen und die Hälften der Lagerringe zurückgeschlagen sind, so durch die beiden Ringe, dafs das Ocularrohr bei der Mikrometerschraube der Alhidade herauskommt, und schiebt das Fernrohr so weit vor, dafs die in dem Mittelringe befindliche kleine Oeffnung sich an die Endfläche des Zapfens h legt. Durch Schliefsung der Lagerringe und Vorstecken der Stifte wird das Fernrohr befestigt. Darauf vertauscht man zu Gestirnbeobachtungen die das Huyghens'sche Ocular enthaltende Ocularröhre mit dem prismatischen Ocularrohr und befestigt wieder das Getriebe. Zur Balancierung der Ocularröhre wird auf das vordere Ende des Objectivrohrs noch der Ring m_2 geschoben.

Um den Schwerpunkt des mit der Säule B verbundenen Apparats auf die Verticalachse zu verlegen und zugleich um die Bewegung des Limbuskreises zu erleichtern, wird die auf der Säule ruhende Platte DD von einem starken Rahmen NN umgeben, der an der einen Seite ein auf einer eingeschraubten Eisenstange n verstellbares Gegengewicht O, an der gegenüberliegenden Seite aber eine Frictionsrolle n_1 trägt, die in einen an der Unterfläche des Limbuskreises einge-

drehten Falz eingreift. Zwischen den beiden diametral gegenübersitzenden und in die Platte DD eingreifenden Schraubenspitzen $n_2 n_2$ ist NN drehbar.

Zu der verticalen Stellung der Verticalachse und des Kreissystems dient die auf die vorspringenden Zapfen hh der Albidadenachse zu setzende Röhrenlibelle P, deren einer Fufs durch einen Arm n_3 gehalten wird, der auf dem Rahmen NN befestigt ist.

§. 211.

Das im Vorhergehenden erwähnte untere Fernrohr L wird bei dem in Rede stehenden Höheninstrumente nur als Unterlage einer Libelle Q angewandt, die bei der Umdrehung des Fernrohrs M und der Albidade als Versicherungsniveau für die unverrückte Lage des Limbuskreises dienen soll. Die Libelle ruht mit den entsprechenden Einschnitten an ihren Füfsen auf zwei Zapfen l, die an zwei das Fernrohr L umgebenden Ringen $l_1 l_1$ (Figg. 100. und 101.) befestigt sind und von denen in jeder Figur nur der eine derselben sichtbar ist.

Da aber die Libelle Q zugleich als Aufsatzlibelle für das Azimuthalinstrument angewandt wird, so darf eine etwa weiter nothwendige Correction an derselben, wenn sie für den letzteren Apparat ausgeführt war, selbstverständlich nicht vorgenommen werden.

Um aber dennoch die etwa nicht Statt findende parallele Lage der Sehne der Luftblase mit den Aufstellpunkten berichtigen zu können, ist der eine Ring l_1 in Fig. 100. durch einen angesetzten Arm in einem Rahmen l_2 verstellbar, während der andere, nur in Fig. 101. sichtbare Ring l_1 mit dem Fernrohr fest verbunden ist. Um die Libelle Q in Fig. 100. ganz sichtbar zu machen, ist die Aufsatzlibelle P durchbrochen dargestellt.

Zur Berichtigung der etwa nicht vorhandenen verticalen Bewegung der Achse des Fernrohrs L in ihrer Büchse, deren Befestigung durch die aufgeschraubte Mutter l_3 in Fig. 101. bewerkstelligt wird, ruht die Büchse in einem hohlen Halbcylinder k_6, der in einem ihn umgebenden Ringe l_4 mittelst zweier Schrauben ebenfalls verstellt werden kann.

Die Balancierung des Fernrohrs L geschieht durch ein Gegengewicht, welches auf die mit der Büchse K verbundene Eisenstange, in beiden Figuren nur abgebrochen dargestellt, geschoben und auf derselben befestigt wird.

§. 212.

Das Fadennetz des Hauptfernrohrs ist jetzt so eingerichtet, dafs 5 Verticalfäden von einem Horizontalfaden geschnitten werden. Zur Beleuchtung desselben dient die Laterne R, deren Fufs einen Arm r trägt, mittelst dessen durchbohrten und drehbaren Gewindes r_1 sie in der Mitte der Fernrohrhülse befestigt werden kann. Eine Moderierung des Lichts kann man nur durch vorgelegte Oelpapier-

streifen in verschiedener Dicke bewirken. Ein auf den Ocularkopf gestecktes Sonnenglas dient zu Sonnenbeobachtungen. Ueber das prismatische Ocular des Fernrohrs ist §. 51. und Fig. 33. zu vergleichen. Jedes der Fernröhre hat 20 Linien Oeffnung, 20 Zoll Brennweite und eine 30malige Vergröfserung. Für terrestrische Höhenmefsungen kann die Ocularröhre mit dem Prisma, durch die erwähnte mit dem Huyghens'schen Ocular vertauscht werden; durch Vorschrauben einer Linse ist auch die 30fache Vergröfserung zur 36fachen zu verstärken.

Der äufsere Durchmefser des Hauptkreises hat, wie der des Azimuthalkreises, 11 Zoll, der innere der Theilung 10 Zoll. Jeder derselben ist unmittelbar in Sechstel Grade getheilt und mit 4 Verniers versehen, die 10 Sekunden angeben, von denen aber noch 3 Sekunden sicher geschätzt werden können. Die Theilung ist, von der Mitte aus betrachtet, von Links nach Rechts mit wachsenden Zahlenwerthen bezeichnet. Der zum Ablesen der Theilung um einen Ansatz sich bewegende Loupenring hat 2 Arme mit Loupen, die aber in Fig. 100. nur als abgebrochen dargestellt sind.

Der Limbus und die Verniers beider Kreissysteme liegen auf der Mantelfläche eines Kegels, dessen Grundebene gegen den Horizont unter etwa 20 Grad geneigt ist, wodurch die Ablesung bequemer wird.

Die Verniers der Kreise sind auf die in Fig. 61. in natürlicher Gröfse dargestellte Art mit der Alhidadenplatte verbunden, worüber §. 85. nochmals zu vergleichen ist. Obgleich durch diese Einrichtung, mittelst der Verstellung der Verniersunterlagen, auf der einen Seite der Vortheil erreicht werden kann, den Nullpunkten der Verniers Abstände von nahe 90° zu geben: so ist doch auf der anderen Seite nicht zu verkennen, dafs durch die erwähnte Befestigungsart der Verniers leichter eine Wandelbarkeit ihrer Abstände herbeigeführt werden kann, als wenn ihre Platten unabänderlich fest in den Alhidadenkreis eingelafsen sind. Eine nothwendige Folge dieser Befestigungsart ist aber, dafs die Kreisränder nicht durch Speichen mit den Mittelstücken der Kreise verbunden sein können, sondern aus vollen Scheiben bestehen müfsen. Wenn nun hierdurch auch die Limbustheilung sicher vor gröberen Beschädigungen geschützt wird, indem auch die Verniersausschnitte mit dünnen Glasplatten bedeckt sind: so ist doch nicht zu übersehen, dafs diese Einrichtung dennoch nicht allen Staub abzuhalten vermag, der aber dann, wenn er sich zwischen die Ränder der Verniers und den Rand des Limbus setzt, um so nachtheiliger wirkt, da das Wegwischen desselben mittelst eines Pinsels immer erst die Entfernung der Glasplatten fordert, die mit einiger Umständlichkeit verbunden ist.

Das Mikrometerwerk zur Hemmung der groben Bewegung und zur feinen Einstellung der Alhidade gegen den Limbuskreis besteht, wie das, wodurch das Fernrohr L gegen den Kreis gehemmt und eingestellt wird, aus der Halterplatte mit der Klemmschraube, dessen Einrichtung aus §. 97. und Figg. 72. und 73. genau erkannt werden kann.

Bei allen vier Mikrometerwerken sind Differenzialschrauben angewandt. (§. 17. Fig. 2.)

§. 213.

Die vollständige Zusammensetzung des Universalinstruments als Azimuthalapparat oder Horizontalwinkelmeſser zeigt Fig. 101. und zwar in der Art, daſs die zu meſsenden Horizontalwinkel nicht allein wiederholt einfach, sondern auch nach der einfachen und doppelten (oder Borda'schen) Repetitionsmethode bestimmt werden können. Da in dem Vorhergehenden fast sämmtliche Theile desselben schon vollständig beschrieben sind, so mögen hier nur noch einige Bemerkungen über die Zusammensetzung desselben folgen.

Zunächst schiebt man nach Abnahme des Niveau's P oder Q in Fig. 100. das Fernrohr M aus seinen Lagerringen, indem man vorher den Getriebekopf m_1 abgeschraubt und die Ocularröhre ausgezogen hat. Darauf bringt man das Mikrometerwerk der Alhidade an den höchsten Theil des Kreises und entfernt sowohl das Gegengewicht O, als auch das kleinere (nicht dargestellte) Gegengewicht von ihren Eisenstangen, so wie die Mutter f_2; zieht auch sämmtliche Klemmschrauben der Mikrometerwerke fest an. Indem man nun mit der linken Hand den unteren Theil des Kreissystems stützt und mit der rechten die Theile J und F umfaſst, schraubt ein bereit stehender Gehülfe die Schrauben $\delta\delta\delta$, so wie die Mutter g_1 mit der Feder von der Alhidadenachse h ab. Nachdem nun bereits der Dreifuſs $A_1 A_1$ in Fig. 101. mit seinen Stellschrauben auf die Unterlegscheiben in der Nähe des Höheninstruments aufgestellt, auch die Mutter f_2 (Fig. 100.) auf die Mitte der Feder s in Fig. 101. gelegt war, bringt man durch eine Schwenkung um 90° nach Rechts den gelösten Apparat in die Lage, daſs das Kreissystem eine horizontale Lage erhält und steckt die Theile g und f_1 in Fig. 100. in die Durchbohrung des Dreifuſses $A_1 A_1$, wodurch dann die Scheibe f auf den Dreifuſs, die Kreisachse g auf die Feder s und der Alhidadenzapfen h auf die Feder s_1 zu liegen kommt. (Man vergleiche §§. 81. und 85, und Figg. 53. und 61.) Durch Anziehung der Mutter f_2 mittelst eines starken Stahlstifts wird darauf der Apparat in der in Fig. 101. dargestellten Art mit dem Dreifuſse in feste Verbindung gebracht. Schlieſslich wird nun noch die Objectivröhre des Fernrohrs mit der Hülse der in der seitlichen Figur Y dargestellten Horizontalrotationsachse SS verbunden, die Ocularröhre mit dem Huyghens'schen Ocular eingeschoben, der Getriebekopf m_1 befestigt und darauf das Fernrohr M, von welchem indessen erst noch der aufgeschobene Ring m_2 (Fig. 100.) zu entfernen war, mit den Zapfen seiner Rotationsachse in die Lager der Stützen $h_2 h_2$ gelegt, von welchen das eine, wie die Figur X zeigt, durch 2 Stellschrauben in verticaler Richtung verstellbar ist, durch die beiden anderen Zugschrauben aber fest mit der Stütze verbunden werden kann. Durch die auf die Zapfen der Achse SS gesetzte Röhrenlibelle Q kann dann das Azimuthalinstrument eingestellt werden. Die ver-

längerten Füfse derselben legen sich mit ihren Einschnitten an den parallelepipedischen Ansatz h_3 der beiden Lagerringe $h_3 h_3$; sowohl hierdurch, als auch durch die Deckplatten s_2 der Lager wird das Niveau vor dem Herabfallen gesichert. Das Fadennetz des Huyghens'schen Oculars besteht aus 2 Horizontal- und 2 sie senkrecht schneidenden Verticalfäden, die von der Mitte gleich weit abstehen, so dafs das Bild des Objects in den quadratischen Raum gebracht wird.

§. 214.

Das untere Fernrohr hat bei dem vorliegenden Azimuthalinstrumente eigentlich nur den Zweck, um die Borda'sche Repetitionsmethode bei der Mefsung der Horizontalwinkel in dem Vortrage über praktische Geometrie praktisch erklären zu können. Es gestattet zum Zwecke des praktischen Gebrauchs eine hinreichend grofse Drehung in einer Verticalebene und die Anschliefsung defselben an den Limbuskreis mittelst des Mikrometerwerks $k_3 k_4$. Bei der Nichtanwendung der erwähnten Repetitionsmethode kann es aber auch als Versicherungsfernrohr dienen.

Da diefs Fernrohr seitwärts von dem Achsensystem des Horizontalkreises angebracht ist, so dient, wie schon bemerkt, zur Balancierung ein kleines Gegengewicht, welches auf der Eisenstange k_5 an der gehörigen Stelle befestigt werden kann, um einen sonst Statt findenden einseitigen Druck aufzuheben.

Durch die im vorigen Paragraphen angegebenen Vorschriften, um aus der Zusammensetzung des Universalinstruments als Höhenapparat, die als Horizontalwinkelmefser herzustellen, dürfte es nicht schwierig sein, aus der letzteren Zusammensetzung wieder die erstere herzustellen, wenn die angegebenen Verbindungen und Trennungen in entgegengesetzter Ordnung vorgenommen werden. In Bezug auf die Stellung des unteren Fernrohrs und des Mikrometerwerks der Alhidade mag indessen noch bemerkt werden, dafs beide vor der Lösung der Mutter f_2, der Lagerplatte EE gegenüber gestellt werden müfsen, und darauf dann erst sämmtliche Druck- und Klemmschrauben fest angezogen werden. Auch mufs sogleich nach dem erfolgten Ausheben von einem Gehülfen, die Mutter g_1 (Fig. 100.) mit der kugelcalotteförmigen Feder auf das Gewinde des Zapfens h geschraubt und dann erst der Apparat durch Schwenkung desselben um 90° nach Links in die in Fig. 100. dargestellte Lage gebracht werden.

Das Universalinstrument wird in 2 Kasten verpackt, von denen der eine alle in der Fig. 101. angegebenen Theile, die zur Mefsung der Horizontalwinkel erforderlich sind, der andere aber den Dreifufs AA mit der Säule B der Fig. 100., das Gegengewicht O, die Laterne R, die Ocularröhre mit prismatischem Ocular und die Mutter g_1 nebst der Feder aufnimmt.

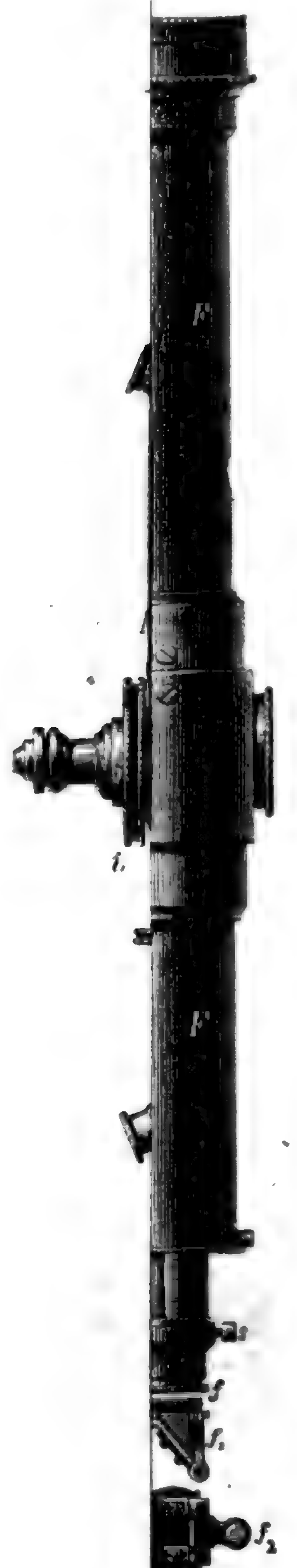
2. Das neuere Universalinstrument von Frerk jun.

§. 215.

Dieser in den Figuren 102. und 103. im Drittel der natürlichen Gröfse dargestellte Apparat ist von dem hiesigen Mechaniker Frerk jun.; ein anderes, nach meinen Angaben und dem vorliegenden im Allgemeinen ähnlich construiertes Instrument wurde in gleichen Dimensionen von dem hiesigen Mechaniker Klindworth für die technische Lehranstalt in Helsingfors angefertigt.

Mit der Grundlage des Instruments, dem durchbohrten Dreifufs AA steht, wie diefs Fig. 60. näher zeigt, eine Büchse in Verbindung, in welcher sich die Kreis- und Alhidadenachse mit ihren Kreisen drehen läfst. Alle drei Theile werden noch von einem Mantel B umschlofsen, der mit dem Limbuskreise CC wieder zu einem Stück vereinigt ist. Dieser Mantel bietet das einst von Reichenbach empfohlene Mittel dar, die Hemmung und mikrometrische Einstellung des Limbuskreises gegen den Dreifufs, seiner Umdrehungsachse möglichst nahe zu bringen. Die Hemmung geschieht durch einen, den Mantel umgebenden geschlofsenen Ring b und die Prefsschraube b_1; die feine Einstellung durch die Mikrometerschraube b_2 und eine plattenförmige Druckfeder. (Vgl. Fig. 76.) Der Kopf der einen Stellschraube enthält eine Eintheilung in 100 gleiche Theile, für welche der zugehörige Arm ein dreiseitiges Prisma als Index enthält (§. 76. und Figg. 53. und 87.). Da dieser Apparat vorzugsweise bei terrestrischen Mefsungen benutzt wird, so ist an der Unterfläche des Dreifufses eine Oese D zur Verbindung des Apparats mit dem Stativ angeschraubt. Durch die Schraube d kann die Verticalachse der Alhidade, welche auf einer im Innern angebrachten Feder ruht, richtig gestellt werden; auf einer darüberliegenden, durchbrochenen Feder ruht die Kreisachse. Die Hemmung und mikrometrische Bewegung der Alhidade, die wegen des vorspringenden Kreisrandes nicht sichtbar ist, gegen den Kreis geschieht durch die Halterplatte mit der Klemmschraube c und durch die Mikrometerschraube c_1 mit der Feder, der in Fig. 75. dargestellten Einrichtung analog.

Der äufsere Durchmefser des Kreises hat $9^1/_3$ Zoll, der innere der Theilung 8 Zoll Pariser Mafs. Er ist unmittelbar in Sechstel Grade getheilt und mit vier Verniers versehen, welche 10 Sekunden angeben, aber noch die Schätzung von 3 zu 3 Sekunden zulafsen. Der um einen Ansatz sich bewegende Loupenring c_2 führt zum Ablesen der Theilung vier Arme mit Loupen, von denen aber in der Zeichnung nur die eine dargestellt ist; mit den äufseren Fafsungen der Loupen sind auch die Blendrahmen verbunden. (Vgl. Fig. 42.) DD sind die schräg aufwärts laufenden Stützen des Fernrohrs nebst Zubehör, welche mit dem mit der Alhidade verbundenen Cylinder D_1 ein Ganzes bilden. Hierdurch wird der durch die Last des Fernrohrs entstandene Druck auf das Mittelstück der Alhidade und nicht auf ihren Rand verlegt, wie es in Fig. 101. der Fall war. Die Ränder des Kreises und der Alhidade sind mit ihren Mittelstücken durch Speichen verbunden.



Die vertical auslaufenden Theile *dd* der Stützen enthalten die Achsenlager für die Rotationsachse des Fernrohrs. Das eine derselben ist durch Stellschrauben in verticaler Richtung verstellbar.

Zur Mikrometerbewegung sowohl des Fernrohrs, als des Versicherungsniveau's der Alhidade des Verticalkreises ist mit den Armen jeder Stütze eine Platte verbunden, von welcher in schief abwärts gehender, aber normaler Richtung wieder zwei Arme *EE* auslaufen, von denen der eine die Mikrometerschrauben ee_1, der andere aber das Gehäuse der Spiralfeder enthält, die sich gegen den gehemmten Arm g_1 oder *l* der Rotationsachse oder des Versicherungsniveau's legt, welche Einrichtung deutlicher aus Fig. 79. erkannt werden kann.

§. 216.

Der obere, nur zu Verticalmefsungen dienende Theil des Universalinstruments besteht erstens aus dem Fernrohr *FF*, das an dem einen Ende der Umdrehungsachse *GG* auf die im §. 89 angegebene und in Fig. 64 dargestellte Art befestigt ist und zweitens aus dem Verticalkreissystem, von welchem der Limbuskreis *HH* an einer Flansche der Rotationsachse festsitzt, während der Vernierkreis *JJ*, von welchem nur der vornliegende Rand sichtbar ist, ebenfalls an einer Flansche einer die Rotationsachse umgebenden Büchse *i* befestigt und letztere daher mittelst des geränderten Kopfes i_1 um *GG* drehbar ist. (Vergleiche Fig. 68.) Durch die Verlegung des Fernrohrs an das eine Ende der Rotationsachse wird nicht nur eine Beobachtung in allen Zenithdistanzen mit gleicher Bequemlichkeit dargeboten, sondern es kann auch die Röhrenlibelle *K*, über deren Einrichtung Fig. 5. und §. 27. zu vergleichen ist, ihre Stellung während der Beobachtungen unverändert beibehalten.

Die Büchse des Vernierkreises (der Alhidade) wird noch von einer anderen Büchse *L* umschlofsen, die das Versicherungsniveau *M* trägt und daher auch bei den Drehungen der Alhidade ihren Stand nicht ändert, von deren unterer Fläche aber noch der zur Einstellung des Versicherungsniveau's dienende Arm *l* ausläuft und durch die Mikrometerschraube e_1 eine sanfte Bewegnng erhält, nachdem die Hemmung durch die Prefsschraube l_1 erfolgt ist. Zum Festhalten der Rotationsachse *GG* gegen die Büchse *i* dient eine vorgeschraubte Mutter nebst einer kugelcalotteförmigen Feder. Die Hemmung der Rotationsachse wird durch den geschlofsenen Ring *g*, von welchem der Arm g_1 ausläuft und durch die Prefsschraube g_2 ausgeführt; durch die Mikrometerschraube *e* erfolgt die feine Einstellung. Die Alhidade des Verticalkreises gestattet durch Lüften der Mutter i_1 zwar eine Verstellung gegen den Limbuskreis, aber für sich keine feine Einstellung. Durch Anziehen der Mutter i_1 kann sie mit der Büchse *L* vereinigt und kann ihr nur mit der Libelle *M* zugleich durch e_1 eine mikrometrische Bewegung ertheilt werden.

Das Fernrohr hat 19 Linien Oeffnung, 16 Zoll Brennweite und eine 32 malige Vergröſserung. Das Fadennetz desselben besteht aus 5 senkrechten Fäden, die von zwei nahe zusammenstehenden Horizontalfäden geschnitten werden.

Zur Beleuchtung desselben dient ein im Inneren des Mittelstücks des Fernrohrs eingelegter Planspiegel, worüber §. 89. zu vergleichen ist. Eine Moderierung des Lichts kann daher auch nur durch vorgelegtes Oelpapier erreicht werden. Die Ocularröhre hat ein Ramsden'sches Ocular, worüber §. 49. und Fig. 28. zu vergleichen ist. Für Beobachtungen solcher Gestirne, deren Zenithdistanz nicht groſs ist, wird an die Stelle des Ocularkopfes f nach **Pistor** und **Martins** Angabe ein, ein kleines dreiseitiges Prisma enthaltender prismatischer Körper, der auch mit einem Sonnenglase versehen ist, geschraubt, der in f_1 und f_2 in der Seiten- und oberen Ansicht dargestellt ist.

Der äuſsere Durchmeſser des Verticalkreises, der, wie der Horizontalkreis, von Links nach Rechts mit wachsenden Zahlenwerthen bezeichnet ist, hat $8^3/_4$ Zoll, der innere der Theilung 8 Zoll Pariser Maſs. Er ist ebenfalls in Sechstel Grade unmittelbar getheilt und mit 2 Vernieren versehen, die auch 10 Sekunden angeben. Beide Kreise bestehen aus vollen Scheiben. Zum Ablesen der Theilung dient ein Loupenring, der an zwei Armen die Loupen und Blendrahmen wie beim Horizontalkreise trägt.

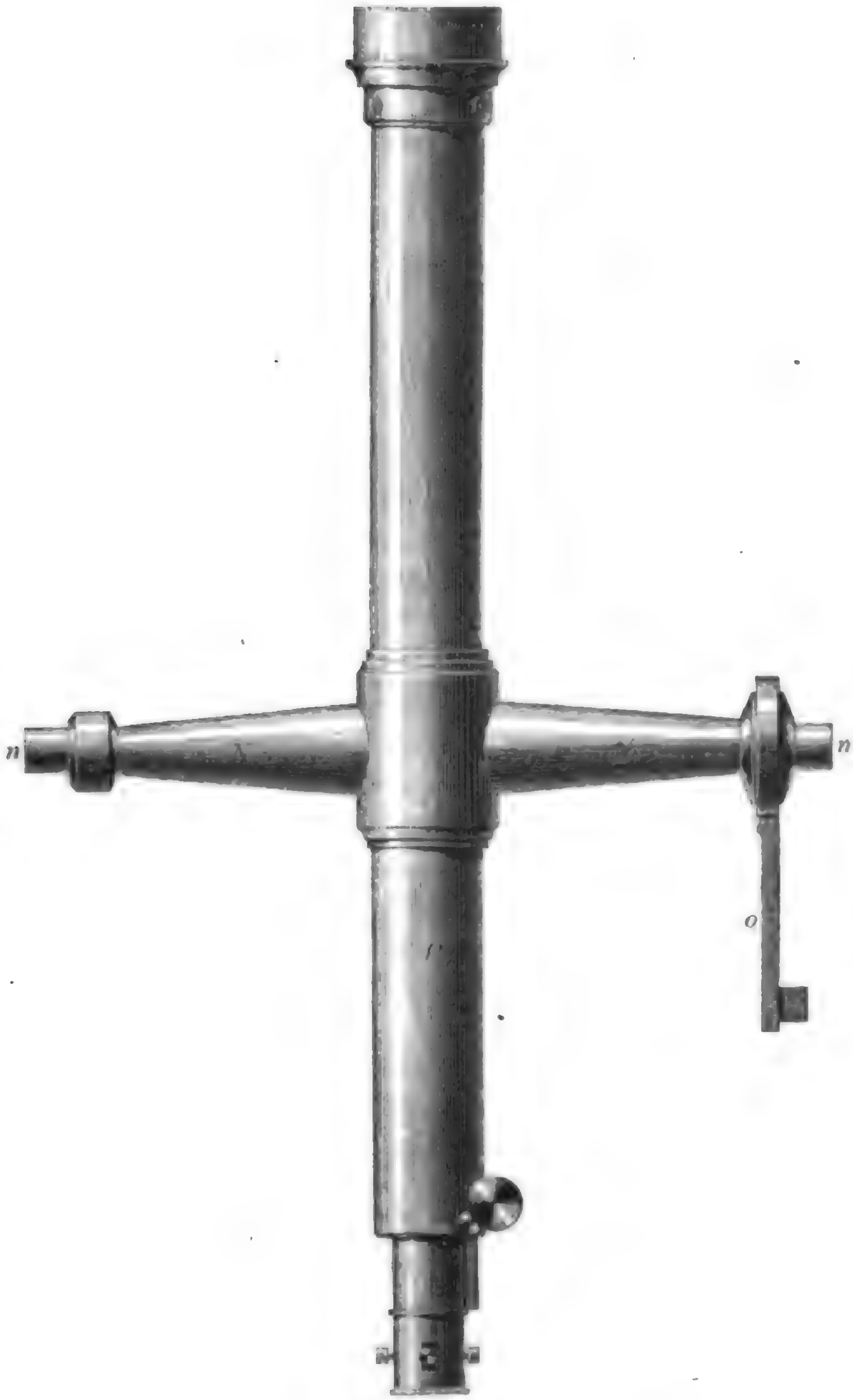
§. 217.

Soll das Universalinstrument nur als Horizontalwinkelmeſser benutzt werden, so wird zunächst die Röhrenlibelle K abgenommen, jede der Mikrometerschrauben e_1 etwas gelüftet und die ihr an dem anderen Arme gegenüber liegende Mutter soweit angezogen, bis die Spiralfeder des Gehäuses ganz zusammengedrückt erscheint. Dadurch erlangen die Hemmungsarme l und g_1 so viel Spielraum, um nun die Horizontalachse GG nebst Zubehör aus ihrer Unterlage heben zu können. Dann legt man an deren Stelle die in Fig. 103. dargestellte Umdrehungsachse NN mit ihren Endzapfen nn in die Zapfenlager dd (Fig. 102.), bringt den Arm o zwischen das Mikrometerwerk der einen Stütze und setzt auf die Zapfen das Niveau K. Das in der Mitte der Rotationsachse befindliche Fernrohr P hat 16 Linien Oeffnung, 16 Zoll Brennweite und eine 24 malige Vergröſserung. Sein Fadennetz besteht aus zwei senkrechten Fäden, die von einem Horizontalfaden durchschnitten werden.

Die Libelle K giebt auf eine Pariser Linie 10 Sekunden, das Versicherungsniveau M 8 Sekunden Ausschlag.

Auch dieſs Universalinstrument wird in 2 Kasten verpackt, von denen der eine alle zu Horizontalmeſsungen nöthigen Theile, der andere aber den Verticalkreis nebst Zubehör aufnimmt.

Fig. 103.



C. Der astronomische Theodolith.

§. 218.

Mit dem Namen *astronomischer Theodolith* sollen nach §. 115. solche Winkelmeſser belegt werden, die zwar, wie das in Fig. 102. dargestellte Univer-

salinstrument, zwei verschiedene Kreissysteme enthalten, von denen aber das für die Verticalmefsungen nur aus einem einachsigen Rotationssystem zu bestehen braucht, die indessen doch solche Einrichtungen haben, dafs damit die Zenithdistanzen aller Gestirne mit gleicher Bequemlichkeit zu bestimmen sind. Es mufs daher das Fernrohr derselben nicht nur ein zum Beobachten der Gestirne eingerichtetes Fadennetz, ein Sonnenglas und eine Beleuchtungsvorrichtung besitzen, sondern auch entweder als gebrochenes Fernrohr construiert, oder an dem einen Ende der Rotationsachse angebracht, dann aber mit einem prismatischen Ocular versehen sein.

Der astronomische Theodolith von Meyerstein.

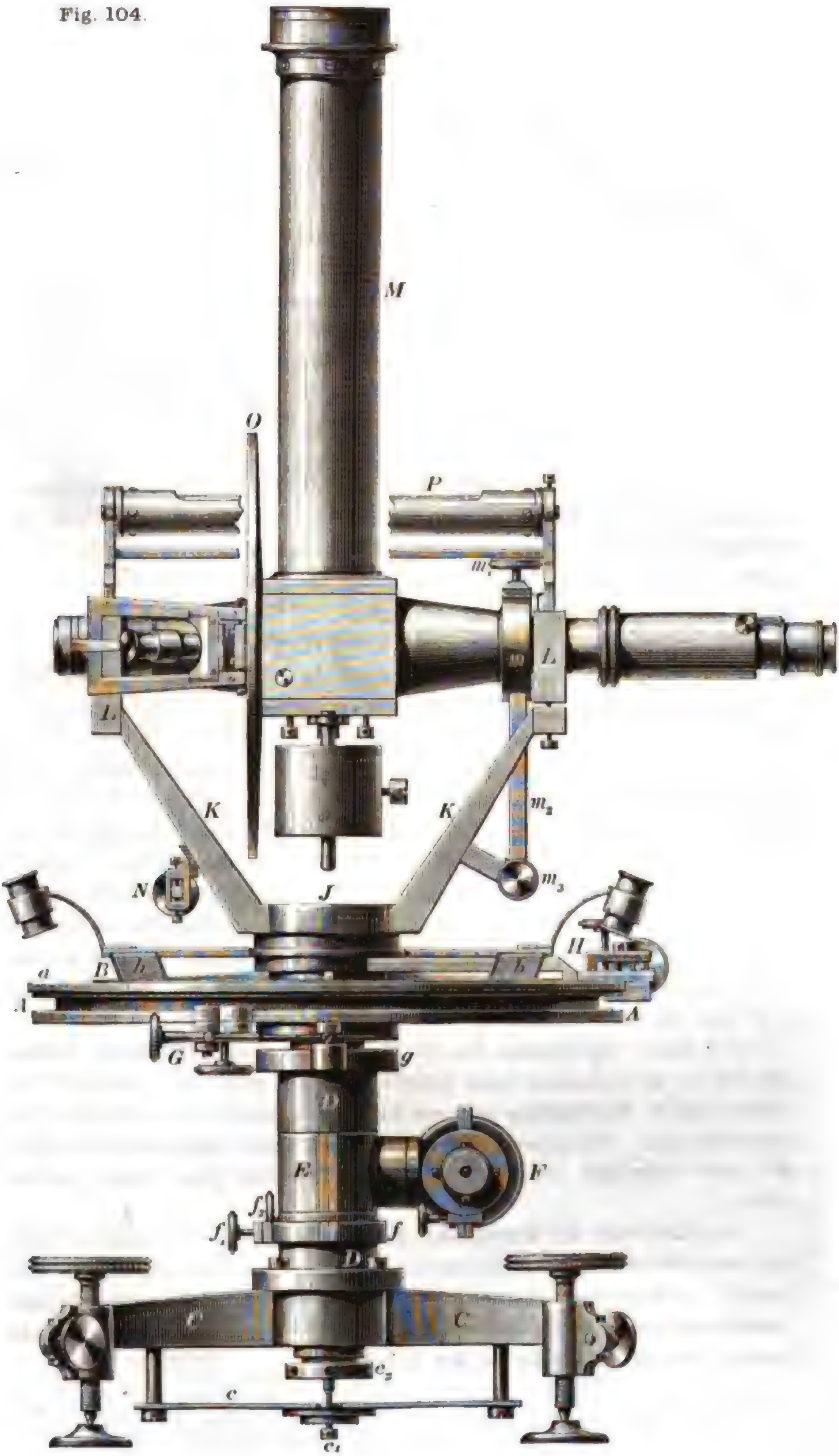
§. 219.

In den Figg. 104. und 105. ist ein astronomischer Theodolith mit gebrochenem Fernrohr im Drittel natürlicher Gröfse dargestellt und von Meyerstein in Göttingen angefertigt. Fig. 104. zeigt die vordere Ansicht desselben, wobei das Fernrohr auf das Zenith gerichtet ist; Fig. 105. enthält seine Seitenansicht bei horizontaler Lage des Fernrohrs.

Der Horizontalkreis hat ein zweifaches Achsensystem, der Verticalkreis dagegen nur ein einfaches. Der Limbuskreis des letzteren ist an der Rotationsachse des Fernrohrs, seine beiden Vernierrahmen aber sind an der einen Stütze desselben befestigt. Die durchbohrte Achse des Horizontalkreises AA nimmt die stählerne Verticalachse der Alhidade BB auf; sie tritt unter dem Dreifufse CC vor und wird von der durch die Feder c hindurchgehenden Schraube c_1 getragen. Beide Achsen werden unterhalb des Dreifufses von der Mutter c_2 zusammengehalten und von der Büchse DD umschlofsen, welche mit dem Dreifufse ein Ganzes bildet. In ihrer halben Höhe wird sie von einer Büchse E umgeben, die aus zwei Halbcylindern mit Seitenansätzen besteht, welche durch Klemmschrauben vereinigt sind. Der eine Halbcylinder trägt seitwärts das Versicherungsfernrohr F, welches gegen die Dreifufsbüchse durch den ebenfalls aus zwei Hälften bestehenden geschlofsenen Ring f mit der Bremsplatte und die Prefsschraube f_1 gehemmt und durch die Mikrometerschraube f_2 auf ein beliebiges Object fein eingestellt werden kann. Durch diese Einrichtung kann das Fernrohr daher auch bei repetierenden Winkelbestimmungen als Versicherungsfernrohr dienen, was bei den meisten anderen Einrichtungen nicht gestattet ist. Die Mikrometerwerke G und H für den Limbuskreis gegen die Dreifufsbüchse und für die Alhidade gegen den ersteren bestehen aus der Halterplatte mit der Klemmschraube. Für das erstere geht von der Dreifufsbüchse der Arm g aus, der die Klemme für die Mutter der Mikrometerschraube G trägt

Für das letztere läuft von dem cylindrischen Fortsatz des Mittelstücks der Alhidade auch ein Arm aus, der wieder die Klemme für die Mutter der Mikrometerschraube enthält. Werden die Klemmschrauben der Mikrometerwerke

Fig. 104.



angezogen, so wird durch die erwähnte Einrichtung die durch die Wirkung der Mikrometerschrauben zu überwindende Spannung in den benachbarten Theilen nur auf die Arme, nicht aber auf die Speichen des Kreises und der Alhidade sich erstrecken, was bei den gewöhnlichen Einrichtungen meistens der Fall ist.

Die Ränder des Limbus- und Alhidadenkreises sind mit ihren Achsenstücken durch Speichen verbunden; zum Schutz für die Theilung des ersteren ist derselbe von einer halbcylindrischen Kappe *aa* bedeckt, die an dem inneren Rande befestigt ist. Der äufsere Durchmefser des Horizontalkreises beträgt 9½ Zoll, der innere für die Theilung 9 Zoll. Er ist in Sechstel Grade getheilt, jeder seiner 4 Verniers giebt 10 Sekunden an. Der zum genauen Ablesen der Theilung über der Alhidade angebrachte Loupenring hat 2 Arme mit Loupen; die Blendrahmen *bb* sind auf der erwähnten Kappe befestigt.

Ein Ansatz der Alhidade trägt die Grundplatte *I* der schief aufwärts gehenden Stützen *KK* des Fernrohrs, deren obere, senkrecht gestellte Theile *LL* die Achsenlager für die Zapfen der Rotationsachse enthalten. Das eine derselben, nämlich dasjenige, an welchem die Rahmen für die Verniers nicht befestigt sind, ist auf bekannte Weise verstellbar.

Ueber die Construction des gebrochenen Fernrohrs *M* ist §. 53. und Fig. 35. zu vergleichen. Die Hemmung desselben geschieht durch den geschlofsenen Ring *m* mit der Bremsplatte und Prefsschraube m_1; der nach Unten verlängerte Arm m_2 desselben legt sich zwischen das Ende der Mikrometerschraube m_3 und den Kopf der gegenüberliegenden Spiralfeder (vgl. Fig. 78.). An den beiden Armen der gegenüberliegenden Stütze ist eine Platte befestigt, welche die Träger der Versicherungslibelle *N* enthält; der eine enthält die Correctionsschrauben für die Verticalbewegung, der andere die für die Horizontalbewegung derselben. An derselben Stütze sind auch die gebrochenen Rahmen befestigt, deren Enden die fliegenden Verniers für den Verticalkreis *O* enthalten. In Fig. 105. ist bei dem linksliegenden Vernier-Rahmen der Blendrahmen weggelafsen, bei dem rechtsliegenden dagegen wird der Vernier von der Blendung verdeckt. Man vergleiche §. 91. und Fig. 67.

Der innere Durchmefser für die Theilung an dem Verticalkreise beträgt 4½ Zoll; er ist in Sechstel Grade getheilt, während jeder der Verniers 10 Sekunden angiebt. Die Theilung geht von Links nach Rechts mit wachsenden Zahlenwerthen fort. Zum genauen Ablesen derselben dienen zwei Arme mit Loupen, die durch einen auf der Umdrehungsachse liegenden Ring bewegt werden können.

Zur Einstellung der Verticalachse dient die Libelle *P*, die zwischen 2 Speichen des Verticalkreises bei horizontaler Lage des Fernrohrs gestellt wird und daher bei Beobachtungen abgenommen werden mufs. Zwei mit entsprechenden Ausschnitten versehene Deckplatten, welche auf die obern Lagerflächen gesteckt werden, schützen die Libelle vor dem Herabfallen.

als
ıng,
eht
en.
Zu
as
ıe
al

Das gebrochene Fernrohr, welches eben sowohl ganz durchgeschlagen, als auch in seinen Lagern bequem umgelegt werden kann, hat 20 Linien Oeffnung, 20 Zoll Brennweite und eine 30malige Vergröfserung. Sein Fadennetz besteht aus 5 senkrechten Fäden, die von einem Horizontalfaden geschnitten werden. Ueber die Einrichtung zur Beleuchtung desselben ist §. 53. zu vergleichen. Zu Sonnenbeobachtungen dient ein vor den Ocularkopf gestecktes Sonnenglas. Das Versicherungsfernrohr hat 16 Linien Oeffnung, 18 Zoll Brennweite und eine 20malige Vergröfserung. Sein Fadennetz besteht aus zwei auf einander normal stehenden Fäden.

Zum Verpacken des Apparats werden die beiden Gegengewichte des Fernrohrs abgezogen, dann, nachdem die Mikrometerschraube m_3 gelöst und die gegenüberliegende Mutter ganz angezogen ist, der obere Theil desselben ausgehoben und in den oberen abgeschlofsenen Raum eines Kastens gelegt, dessen unterer Raum dann den Untertheil des Apparats aufnimmt.

Die Fehler des Universal-Instruments und des astronomischen Theodoliths als Höheninstrument, und deren Berichtigung.

I. Berichtigung der Libelle der Horizontalrotationsachse, der ungleichen Höhe der Achsenlager der letzteren und die Einstellung der Verticalachse.

§. 220.

1. **Die Berichtigung des Niveau's** geschieht, wie im §. 174. angegeben ist, nur wird man sich dabei des Vortheils, den die Eintheilung des Kopfes wenigstens der einen Stellschraube des Dreifufses gewährt, bei den Apparaten der Figg. 100. und 104. nicht bedienen können, da diese der Eintheilung entbehren. Wegen der im §. 174. 2. angegebenen Berichtigung ist wieder §. 30 4. zu beachten.

2. **Die Berichtigung der ungleichen Höhe der Achsenlager der Horizontal-Rotationsachse** ist für die in den Figg. 102. und 104. dargestellten Apparate nach §. 175. an dem beweglichen Achsenlager der einen Stütze vorzunehmen. Bei dem älteren Universal-Instrumente der Fig. 100. dient zu diesem Zwecke die in der Lagerplatte DD angebrachte, durch einen eingesteckten Stift verstellbare Schraubenmutter d_1. Wurde zu diesem Zwecke die zugehörige Schraube d etwas gelüftet, so müfsen die beiden anderen Befestigungsschrauben eben so viel angezogen werden, oder umgekehrt.

3. Das im §. 175. angegebene Verfahren zur Bestimmung der ungleichen Höhe der Achsenlager setzt eine vollständig berichtigte Libelle voraus, die aber wiederum von der gleichen Dicke der Zapfen abhängig gemacht wird. Unabhängig von der Libelle kann man nun die Untersuchung auf folgende Weise ausführen.

a. Kann man das Fernrohr durchschlagen und befindet sich dasselbe in der Mitte der Rotationsachse, wie es bei dem astronomischen Theodolith der Fall ist, so richte man das Fadenkreuz auf ein möglichst hoch gelegenes Object O und bemerke sich den Punkt o an irgend einem Gegenstande, von welchem das Fadenkreuz beim Niederbewegen des Fernrohrs getroffen wird. Schlägt man darauf das Fernrohr durch, dreht die Alhidade des Azimuthalkreises um 180° und trifft dann das Fadenkreuz bei der Bewegung des Fernrohrs von O abwärts wieder den Punkt o, so ist die Rotationsachse normal zur Verticalachse; wird aber ein anderer Punkt o_1 getroffen, so mefse man den Unterschied der Lage der Punkte o und o_1 auf dem Azimuthalkreise, stelle das Fadenkreuz auf das arithmetische Mittel beider Ablesungen und verbefsere dann an dem beweglichen Achsenlager die Lage des zugehörigen Zapfens so weit, bis das Fadenkreuz wieder auf den Punkt o gerichtet ist. Durch eine Wiederholung dieses Verfahrens wird man den etwa noch gebliebenen kleinen Fehler meistens sogleich beseitigen.

b. Statt des Objects O kann man das Fadenkreuz auch längs eines straff ausgespannten Fadens auf- und niederbewegen und untersuchen, ob das Fadenkreuz immer vom Bilde des Fadens geschnitten wird. Diefs Verfahren, so wie auch das folgende, kann man auch dann bequem anwenden, wenn das Fernrohr an dem einen Ende der Rotationsachse angebracht ist.

c. Man richte das Fadenkreuz wieder auf ein hoch gelegenes Object O, bringe zwischen dieses und das Fernrohr so den Quecksilberhorizont, dafs das reflectierte Bild von O in demselben durch das Fernrohr sichtbar wird und neige das Fernrohr nach dem Horizonte zu. Wird dann das reflectierte Bild von O von dem Fadenkreuz getroffen, so ist wieder wie in *a* die Rotationsachse normal zur Verticalachse. Die etwa gefundene Abweichung wird dann wie in *a* gemefsen und das bewegliche Achsenlager, oder, bei dem in Fig. 100. dargestellten Universalinstrumente an der verstellbaren Schraubenmutter d_1, dann wie in *a* verbefsert.

Anmerkung. Dieser Methoden wird man sich daher bei kleinen Theodolithen, Mefstischen und Boussolen, wenn dieselben keine Röhrenlibelle führen, bedienen.

4. Die verticale Einstellung der Verticalachse der Apparate erfolgt dann, wie im §. 174. 3. angegeben wurde.

2. Die Bestimmung der Gestalt der Zapfen, der etwaigen Ungleichheit derselben und der Neigung der Horizontal-Rotationsachse gegen den Horizont.

§. 221.

Zu der Bestimmung der Gestalt der Zapfen kann das im §. 173. 1. angegebene Verfahren wohl nur auf den astronomischen Theodolith der Figg. 104. und 105. angewandt werden, während das unter 2. angegebene bei den beiden anderen zur Anwendung zu bringen ist. Die Bestimmung der etwaigen Ungleichheit der Zapfen und die der Neigung der Rotationsachse ist nach §. 176. auszuführen.

3. Berichtigung der Stellung der Platte des Fadennetzes und Bestimmung des Collimationsfehlers des Fernrohrs.

§. 222.

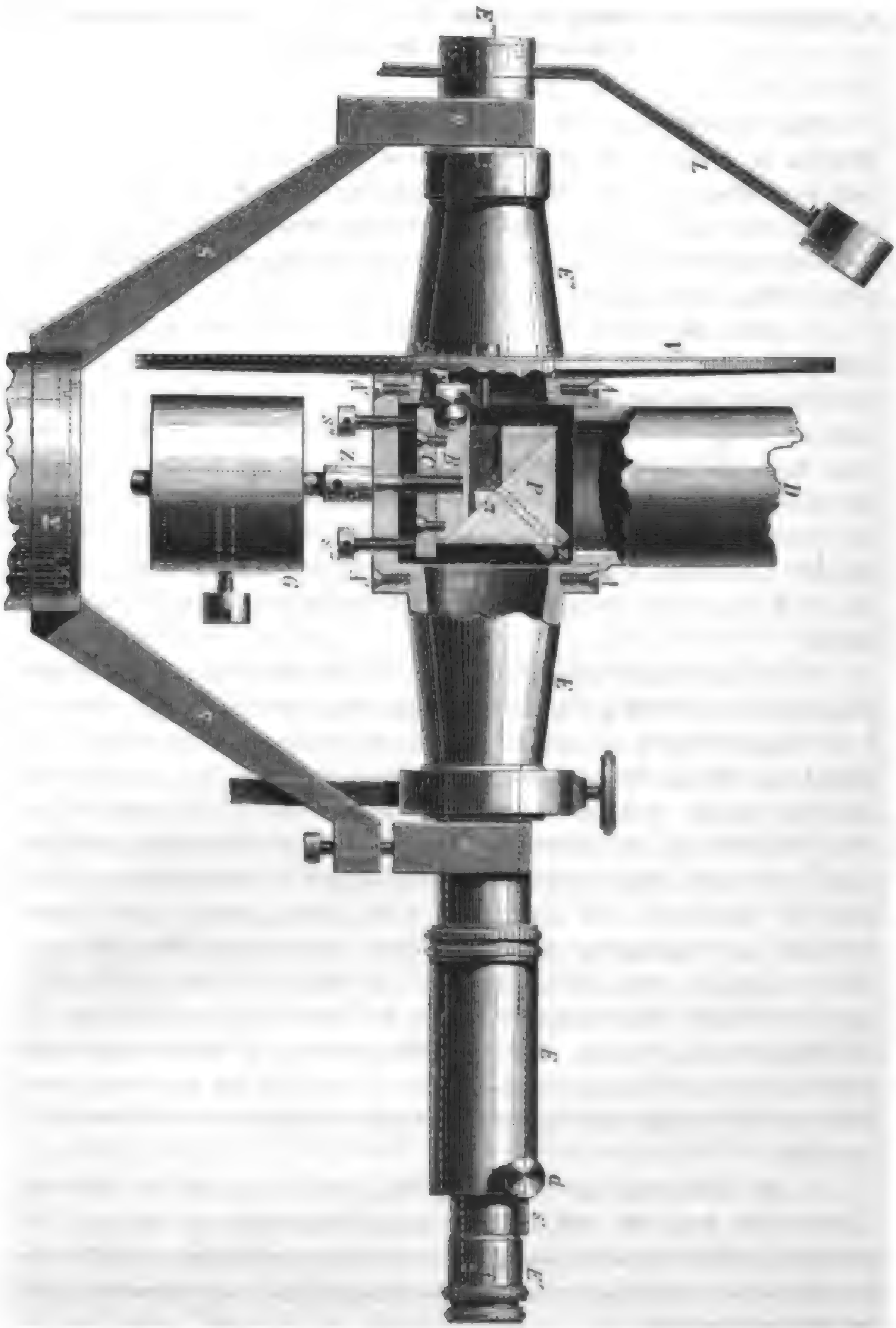
Vor der Bestimmung des Collimationsfehlers ist nicht nur die Fadennetzplatte an die richtige Stelle der Ocularröhre zu bringen, sondern es ist derselben auch die Stellung zu geben, dafs bei der richtigen verticalen Aufstellung des Instruments die beiden s. g. Horizontalfäden wirklich horizontal, d. h. parallel mit der Horizontal-Rotationsachse, die darauf normal stehenden Seitenfäden also senkrecht zu dieser Achse werden.

1. Ueber die erstere Stellung ist §. 48. zu vergleichen. Zu der zweiten Berichtigung wendet man entweder einen Aequatorealstern an, worüber §. 154. zu vergleichen ist, oder man richtet das Fernrohr auf einen deutlich markierten Gegenstand, bringt das Bild desselben zwischen die beiden Horizontalfäden an dem einen Rande des Gesichtsfeldes und untersucht, ob bei der Horizontalbewegung des oberen Theils des Apparates das sich bewegende Bild bis zum anderen Rande des Gesichtsfeldes immer zwischen den Horizontalfäden geblieben ist. Die sich zeigende Abweichung wird dann, wie schon im §. 154. bemerkt wurde, an den zwei Stellschräubchen, die an dem Ende der Objectivröhre sich befinden, verbefsert.

2. Da aber ferner bei dem astronomischen Theodolith die von dem Objecte ausgehenden Lichtstrahlen von der Hypotenusenebene des Glasprisma's reflectiert in das Ocular gelangen, so mufs die Stellung des Prisma's eine solche sein, dafs dadurch das Bild des Objects nicht verzerrt erscheint. Diefs wird aber nur dann geschehen können, wenn nicht nur die Collimationslinie des Fernrohrs in der Ebene liegt, die von der Rotationsachse und der auf der Hypotenusenebene gezogenen Normalen gebildet wird, sondern wenn zugleich die Kathetenebenen normal gegen die auffallenden und austretenden Lichtstrahlen gerichtet sind. Richtet man daher das Fernrohr auf einen hellen Stern, so mufs sein Bild vollkommen scharf erscheinen. Zeigt sich dasselbe aber nicht kreisrund, sondern geschwänzt, so mufs in Fig. 35. durch Lösung der einen der Stellschrauben $\sigma\sigma$, die gegen den parallelepipedischen Fortsatz F des metallenen Stuhles B treten, und durch gleichmäfsiges Anziehen der anderen derselben, der Stuhl mit dem Prisma P so lange gedreht werden, bis das Bild des Sterns vollkommen rund und scharf erscheint.

3. Zur Bestimmung des Collimationsfehlers wendet man dann bei allen drei Apparaten der Figg. 100., 102. und 104., am zweckmäfsigsten das im §. 177. erwähnte Bessel'sche Verfahren mittelst der Collimatoren oder zweier anderer eben so aufgestellter Hülfsfernröhre an. Die Verbefserung des etwa gefundenen Fehlers ist aber nur bei dem Universalinstrumente der Fig. 102. analog dem im §. 177. angegebenen Verfahren an den Stellschräubchen ss der Ocularröhre an-

Fig. 35.



zuwenden, indem dann durch das Lösen der einen und das gleichmäfsige Anziehen der anderen die Fadennetzplatte seitlich verschoben wird.

Bei dem astronomischen Theodolith dagegen kann in Fig. 35. nur durch die Lösung der Zugschraube Z und die Verstellung der drei Stellschrauben $s''s''s''$ gegen einander die Hälfte des Fehlers verbefsert werden, indem man nämlich die eine derselben löst, die beiden anderen aber anzieht, oder umgekehrt, bis das Bild des Gegenstandes dem Mittelfaden um die Hälfte seines ursprünglichen Abstandes näher gebracht ist. Schliefslich ist dann die Zugschraube Z wieder anzuziehen. Durch eine Wiederholung der Untersuchung und Verbefserung wird man dann, so weit diefs überhaupt durch mechanische Hülfsmittel möglich ist, den Collimationsfehler nahezu berichtigt haben.

Bei dem Universalinstrumente der Fig. 100. endlich geschieht die Berichtigung am zweckmäfsigsten dadurch, dafs man das prismatische Ocular mit dem zugehörigen gewöhnlichen Oculare vertauscht, dessen man sich auch bei terrestrischen Höhenbestimmungen, gröfserer Bequemlichkeit wegen, meistens bedienen wird und von welchem angenommen werden mag, dafs es in der Zusammensetzung des Apparats als Azimuthalinstrument (Fig. 101.) bereits berichtigt ist, also die Fadenkreuzplatte nicht weiter verstellt werden darf. Dann müfsen bei der Berichtigung des Collimationsfehlers, dessen Gröfse ebenfalls wieder am Azimuthalkreise abgelesen werden kann, die Correctionsschrauben $\sigma\sigma_1\sigma\sigma_1$ (vgl. auch X in Fig. 101) des einen Fernrohrlagers h_3 angewandt werden, wodurch letzteres eine seitliche Bewegung erleidet. Bei späterer Anwendung des prismatischen Oculars läfst sich dann die Berichtigung wieder an den seitlichen Stellschrauben $\mu\mu$ (Fig. 100.) vornehmen.

§. 223.

Der Collimationsfehler läfst sich auch durch folgende Methoden bestimmen.

1. Man richte das anzuwendende Hülfsfernrohr auf ein entferntes Object und stelle den zu prüfenden Apparat so vor das erstere, dafs die Collimationslinien ihrer Fernröhre zusammenfallen. Dreht man nun das zu prüfende Fernrohr um seine Rotationsachse um 180°, d. h. schlägt dasselbe entweder durch, oder dreht die Alhidade des Azimuthalkreises um 180°, so zeigt die Abweichung des Fadenkreuzes vom Object in horizontaler Richtung wieder den doppelten Collimationsfehler an, den man am Azimuthalkreise wieder bestimmen und zur Hälfte dann auf die angegebene Weise berichtigen kann. Diese Methode wurde zuerst von Bohnenberger angegeben.

2. Man richte das Fernrohr nach einem entfernten Gegenstande, stelle die Alhidade des Horizontalkreises zuerst horizontal und dann fest, hebe den Obertheil des zu prüfenden Apparats aus seinen Achsenlagern und lege denselben so wieder ein, dafs der früher rechts gelegene Zapfen in das linksliegende Lager kommt. Ist dann in dieser zweiten Lage das Fadenkreuz wieder auf das Object gerichtet, so bildet unter der Voraussetzung, dafs die Zapfen der Umdrehungsachse einen gleichen Durchmefser haben, die Collimationslinie des Fernrohrs mit

seiner Rotationsachse 90°. Eine Abweichung hievon kann dann auf die vorhin angegebene Weise gemefsen und berichtigt werden.

Auch diese Methode kann man bei dem astronomischen Theodolith (Fig. 104.) anwenden, da die Umlegung seines Obertheils bequem auszuführen ist. Sie läfst sich aber auch bei dem in Fig. 102. dargestellten Universalinstrumente zur Anwendung bringen, wenn der gewählte Gegenstand eine solche Entfernung vom Aufstellungspunkte hat, dafs die in beiden Lagen des Fernrohrs nach dem Objecte gehenden Linien als parallel angesehen werden können.

Man wird sich dieser zweiten Methode ihrer leichten Ausführung wegen dann gern und mit Vortheil bedienen, wenn das Fernrohr mit den damit in Verbindung stehenden Theilen sich leicht und sicher in seinen Lagern umlegen läfst und die Durchmefser der Zapfen als einander gleich gefunden worden sind.

3. Ist der Zenithpunkt des Verticalkreises genau bestimmt, so stelle man wie im §. 178., unter das nach dem Nadir gerichtete Fernrohr den Quecksilberhorizont, so wird das dadurch hervorgebrachte Spiegelbild der Durchschnitte des Meridianfadens mit den Horizontalfäden nur dann mit den nämlichen Punkten des Fadennetzes coincidieren, wenn der Collimationsfehler gleich Null ist. Die sich zeigende Abweichung dagegen wird den doppelten Collimationsfehler darstellen, den man daher entweder durch die Correctionsschrauben des Fadenkreuzes auf Null bringen, oder dadurch auch mefsen kann, dafs man durch die eine Stellschraube des Dreifufses das eine Achsenlager so weit erhöht oder erniedrigt, bis die beiden Bilder coincidieren und dann durch das Niveau die Neigung i_1 der Rotationsachse in dieser veränderten Lage bestimmt. War die Neigung vor der Verstellung $= i$ und nach derselben $= i_1$, so ist $i_1 - i$ oder $i - i_1$ dem Collimationsfehler gleich.

Da aber bei dieser Methode das Fadenkreuz beleuchtet und auch das im §. 165. beschriebene Ocular angewandt werden mufs, so bedient man sich ihrer auch nur bei gröfseren, feststehenden Instrumenten.

4. Berichtigung des Versicherungsniveau's am Verticalkreise oder an seiner Alhidade.

§. 224.

Die Prüfung über die Richtigkeit des Niveau's und die Bestimmung seines Ausschlages wird bei den in den Figg. 102. und 104. dargestellten Apparaten nach dem in §§. 203. und 204. angegebenen Verfahren ausgeführt. Die Einstellung der Luftblase vor der Mefsung eines Verticalwinkels geschieht bei dem Universalinstrumente der Fig. 102. durch die dem Arm l zugehörige Mikrometerschraube e_1.

Da aber bei dem Universalinstrumente der Fig. 100. die auf die seitlichen Zapfen des Fernrohrs L gesetzte Libelle Q für die Zusammensetzung des Apparats als Azimuthalinstrument (Fig. 101.) als schon berichtigt angesehen werden

mufs, so darf die etwa Statt findende Abweichung der Luftblase nicht an dem Niveau selbst, sondern mufs an dem beweglichen Lagerringe des einen Zapfens verbefsert werden. Zu diesem Zwecke ist, wie schon im §. 211. erwähnt wurde, der erwähnte Lagerring nicht wie der andere l_1 (Fig. 101.) fest mit dem Fernrohr verbunden, sondern gestattet durch Lösung dreier Zugschrauben, welche den Ring mit dem Fernrohr verbinden, aber durch ovale Löcher des Ringes gehen, dadurch eine Drehung desselben gegen das Fernrohr, dafs gegen einen parallelepipedischen Ansatz λ des Fernrohrs, 2 Stellschrauben $\lambda_1 \lambda_1$ durch einen gabelförmigen Fortsatz des Ringes treten. Indem also nach Lösung der zuerst erwähnten Zugschrauben die eine der Stellschrauben gelüftet, die andere eben so viel angezogen wird, kann der an dem Ringe sitzende Zapfen und dadurch auch der auf ihm stehende Fufs des Niveau's Q erhöht und erniedrigt, also der Luftblase die erforderliche Stellung gegeben werden. Nach dieser Berichtigung sind dann die genannten Zugschrauben wieder fest anzuziehen.

5. Bestimmung des Zenith- oder Horizontpunktes am einen Vernier des Verticalkreises.

§. 225.

Die Bestimmung dieses Punktes am einen Vernier des Verticalkreises eines astronomischen Höheninstrumentes soll bekanntlich nur dazu dienen, um vor der Beobachtung eines Gestirns das Fernrohr auf diejenige Höhe zu stellen, die das Gestirn beim Durchgange durch den Meridian oder einen anderen Verticalkreis der Himmelskugel für ein bestimmtes Azimuth besitzt. Es wird daher auch nur bei denjenigen Höheninstrumenten von der Bestimmung des erwähnten Punktes die Rede sein können, bei welchen die Verniers eine sich gleichbleibende feste Stellung gegen den beweglichen Limbuskreis haben, hier also nur bei dem astronomischen Theodolith der Figg. 104. und 105. Indessen läfst sich die Bestimmung nicht nach dem im §. 178. angegebenen Verfahren ausführen, sondern es dient dazu die bereits im §. 207. gegebene Vorschrift.

Mifst man nämlich nach §. 205. in Bezug auf den Vernier 1. des astronomischen Theodoliths die Zenithdistanz eines Gestirns oder eines terrestrischen Objects in beiden Lagen des Kreises R und L, und mufs dabei nach dem Durchschlagen des Fernrohrs, die Angabe L, wie es bei dem in Rede stehenden Instrumente der Fall ist, als die gröfsere Zahl betrachtet werden, so ist nach [63.] und [64.] des §. 207.

$$\text{die Zenithdistanz des Objects} = \tfrac{1}{2}(L - R),$$
$$\text{und der Ort des Zeniths} = \tfrac{1}{2}(L + R).$$

Wäre aber die Bezeichnung der Eintheilung des Kreises eine entgegengesetzte, also $R > L$, so würde die Zenithdistanz $= \frac{1}{2}(R - L)$ sein.

Beispiel. Bei der am 22. Mai 1859 gemefsenen Zenithdistanz des oberen Sonnenrandes gab

der Vernier 1: bei Kreis links, $L = 53^0\ 42'\ 25''$,
„ „ rechts, $R = 304^0\ 10'\ 5''$.

Es ist daher die Zenithdistanz des Sonnenrandes

$$= \tfrac{1}{2}\,(53^0\ 42'\ 25'' + 360^0 - 304^0\ 10'\ 5'')$$
$$= 54^0\ 46'\ 10''$$

und der Ort des Zeniths

$$= \tfrac{1}{2}\,(53^0\ 42'\ 25'' + 360^0 + 304^0\ 10'\ 5'')$$
$$= 358^0\ 56'\ 15''.$$

Wird also bei Kreis links der Index des Verniers 1. auf diese Zahl gestellt, so ist die Collimationslinie des Fernrohrs auf das Zenith gerichtet, so dafs also nunmehr das Fernrohr leicht auf die bestimmte Zenithdistanz oder Höhe eines zu beobachtenden Gestirns zu stellen ist.

Obgleich die Verniers des astronomischen Theodoliths zwischen Schraubenspitzen drehbar sind, also eine Verstellung gestatten, so würde doch die gänzliche Beseitigung des gefundenen Indexfehlers von $1^0\ 3'\ 45''$ durch die Verschiebung der Vernierplatten nicht erreicht werden können, weshalb man lieber den gefundenen Fehler in Rechnung bringt.

6. Bestimmung der Biegung des Fernrohrs und seiner Rotationsachse.

§. 226.

Bei dem Universalinstrumente der Fig. 100. wird weder die Biegung der Rotationsachse, noch die des Fernrohrs in Betracht kommen, da die Achsen der Kreise von hinreichend starken Büchsen K, F, f_1 umgeben sind, dem Fernrohr aber durch die cylindrischen Lager $h_3 h_3$ hinreichender Widerstand dargeboten wird, aufserdem aber noch das Gegengewicht O die Last des Fernrohrs und der Kreise vollständig balanciert.

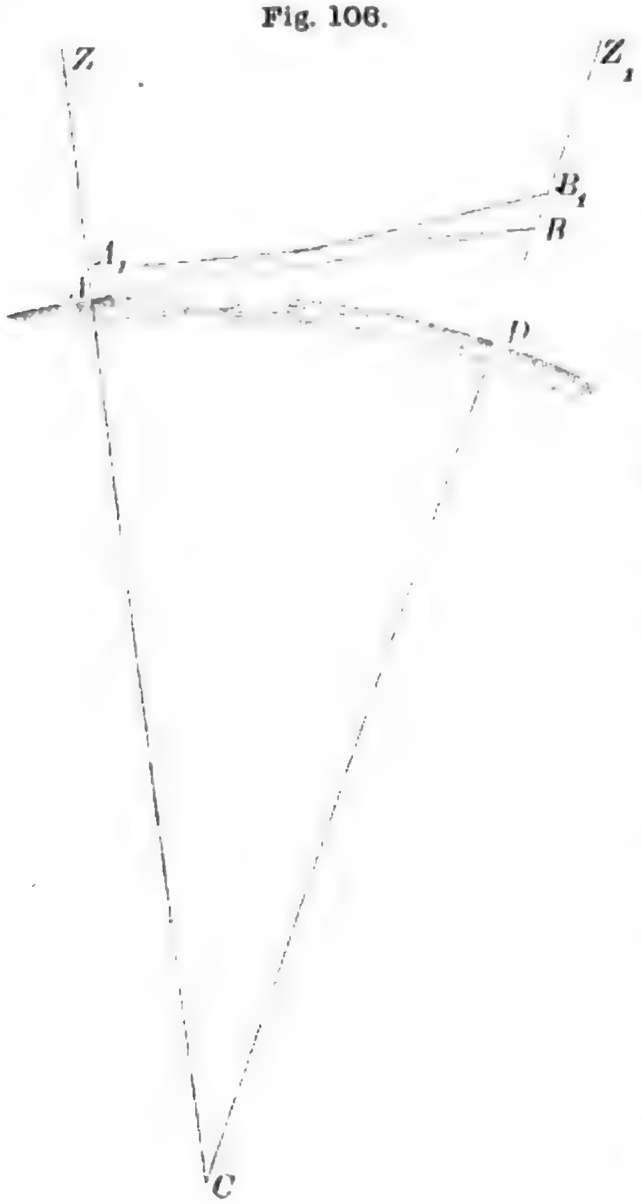
Beim astronomischen Theodolith der Fig. 104. wird eben so wenig von der Biegung der Rotationsachse des Fernrohrs die Rede sein können, weil das in der Mitte an dem Würfel befestigte Fernrohr von zwei starken abgestumpften Kegeln und Zapfen von grofsem Durchmefser getragen wird. Was aber die Biegung des Fernrohrs anlangt, obgleich die Hälfte desselben in dem erwähnten Würfel befestigt und durch zwei Gegengewichte balanciert ist, so wird dieselbe nach §. 181. zu bestimmen und dann in Rechnung zu bringen sein.

Diese letztere Bestimmung wird auch auf das Universalinstrument der Fig. 102. anzuwenden sein. Was aber die Biegung der Rotationsachse bei demselben anlangt, so mufs berücksichtigt werden, dafs auch sie hinreichend stark gebaut ist und die an ihren Enden befindlichen Stücke balanciert sind, weshalb auch bei ihr keine merkliche Biegung zu befürchten sein wird; diese Befürchtung würde aber um so geringer sein, wenn sie auf Frictionsrollen ruhte.

Die Wirkung der Biegung der Rotationsachse wird offenbar darin bestehen, dafs die nach §. 29. bestimmte, auch wegen der Ungleichheit der Zapfen nach

§. 33. verbefserte Neigung derselben nicht die wahre Neigung gegen den Horizont darstellt, sondern um eine bestimmte Gröfse β davon verschieden ist. Sie mufs daher sowohl auf die Mefsung der Horizontal- als Vertikalwinkel einen Einflufs äufsern. Ist demnach die durch das Niveau bestimmte Neigung der Rotationsachse $= i$, so ist die wahre Neigung derselben $= i \mp \beta$. Werden nun aber die Zapfen in ihren Lagern vertauscht, und wird dann aus i der Werth i_1, so ist in dieser zweiten Lage die wahre Neigung der Rotationsachse $= i_1 + \beta$, woraus aber folgt, dafs die Kenntnifs des β nur dann nöthig ist, wenn ein Winkel nur in einer Lage der Rotationsachse bestimmt wird. Mifst man also den Winkel auch noch in der zweiten Lage derselben, so wird das arithmetische Mittel beider Resultate von dem Einflufs der Biegung der Rotationsachse befreit sein. Da aber die Bestimmung der Durchgänge der Gestirne in beiden Lagen der Rotationsachse für manche Gestirne gar nicht ausgeführt werden kann, so ist es wichtig, bei den Durchgangsinstrumenten durch angebrachte Balancierungen den Einflufs der Biegung der Achse zu verhindern.

Fig. 106.



7. Die Verbefserung der gemefsenen Verticalwinkel durch die irdische Strahlenbrechung.

§. 227.

Nur bei kleinen Entfernungen wird von dem, von einem Höhenobjecte ausgehenden Lichte angenommen werden können, dafs es in einer Geraden in das Auge des Beobachters gelangt, also das Object wirklich an seinem Orte gesehen wird; bei gröfseren Entfernungen dagegen, etwa von 800 bis 1000 Fufs an, wird das Licht, wie es bei den Gestirnen im §. 141. bereits erwähnt wurde, bei den gewöhnlichen Zuständen der Atmosphäre, eine gegen die Erdoberfläche concav liegende Curve darstellen, mithin der beobachtete Ort des Objects dem Zenith näher liegen, als der wahre, so dafs demnach wegen der irdischen Strahlenbrechung alle gemefsenen Zenithdistanzen der Höhenobjecte zu klein, folglich alle Elevationswinkel zu grofs erhalten werden. Von dem Orte A in Fig. 106.

scheint daher der Ort B etwa in B_1 und von B der Ort A etwa in A_1 zu liegen. Bei den Höhenbestimmungen terrestrischer Objecte nennt man daher die Winkel ZAB_1 und Z_1BA_1 die scheinbaren, die Winkel ZAB und Z_1BA die wahren Zenithdistanzen der Oerter A und B gegen einander und die Winkel BAB_1 und ABA_1 die Refraction.

Setzt man die Entfernung der beiden Oerter A und $B = d$, den Erdhalbmefser $CA = CD = r$ und nimmt, da die Enfernung AB gegen den Erdhalbmefser immer sehr klein ist, $AB = AD$, so erhält man, da $C : 360^0 = d : 2r\pi$ ist

$$C = \frac{d}{r}\, 206265 \text{ Sekunden}, \qquad [65.]$$

so dafs also der Winkel C als gegeben angesehen werden kann. Bezeichnet man nun die scheinbaren Zenithdistanzen der Oerter A und B beziehungsweise durch z und z_1, die wahren Zenithdistanzen derselben durch Z und Z_1 und die zugehörigen Refractionen durch ρ und ρ_1, so ist

$$Z = z + \rho,$$
$$\text{und } Z_1 = z_1 + \rho_1$$

Aus den Aufsenwinkeln Z und Z_1 des Dreiecks ABC folgt aber leicht

$$Z + Z_1 = 180^0 + C,$$
$$\text{folglich ist } z + z_1 + \rho + \rho_1 = 180^0 + C.$$

Werden nun die scheinbaren Zenithdistanzen gleichzeitig gemefsen, wobei dann angenommen werden kann, dafs der Zustand der Atmosphäre in den Beobachtungspunkten wenigstens nahezu derselbe ist, so ist auch $\rho = \rho_1$ und daher

$$\rho = 90^0 + \tfrac{1}{2}\, C - \tfrac{1}{2}\,(z + z_1).$$

Bei denselben Zenithdistanzen erscheint daher die Refraction nur von dem Winkel C abhängig und kann demnach unter der Voraussetzung derselben Dichtigkeit der Atmosphäre dem Winkel C proportional angesehen werden, so dafs dann

$$\rho = \varkappa\, C \qquad [66.]$$

ist, in welchem Ausdrucke $\varkappa$ einen Zahlencoefficienten, die Refractionsconstante, bezeichnet, der bei derselben Dichtigkeit als constant betrachtet werden darf.

Nach Gaufs	ist $\varkappa = 0{,}0653$,
„ Bessel	„ $\varkappa = 0{,}0685$,
„ Struve	„ $\varkappa = 0{,}06185$,
„ Coraboeuf	„ $\varkappa = 0{,}0642$,
„ Laplace und Delambre	„ $\varkappa = 0{,}08$,
„ Lambert	„ $\varkappa = 0{,}0625$,
„ Tob. Mayer	„ $\varkappa = 0{,}0625$.
Die Engländer setzen	$\varkappa = 0{,}1$.

§. 228.

Wegen der Veränderung der Dichtigkeit der Atmosphäre, insbesondere zu den verschiedenen Tageszeiten, kann aber auch der Werth für $\varkappa$ nicht immer

derselbe sein, und nach den Gaufsischen Untersuchungen kann derselbe sogar um den achten Theil seiner Gröfse als verschieden sich zeigen, mithin bei $\varkappa = 0{,}0653$ zwischen 0,0735 und 0,0571 liegen. Aus den ausgedehnten Untersuchungen, die von Struve, Bessel und Baeyer bei den Gradmefsungen in den Ostseeprovinzen Rufslands und Ostpreufsens angestellt sind, hat sich nun ergeben, dafs die irdische Strahlenbrechnng gerade am constantesten ist, wenn die Bilder der Objecte um Mittag am unruhigsten sich zeigen, und dafs dann deren Zenithdistanzen sich fast gar nicht ändern, auch am einen Tage dieselben sind, wie am andern, dafs aber die Strahlenbrechung sogleich wächst, sobald die Bilder der Höhenobjecte ruhig werden. Deshalb wird von denselben als günstigste Zeit zu Zenithdistanzenbestimmungen die Zeit am Vormittage und Nachmittage, welche beziehungsweise den ruhigen Bildern folgt oder vorangeht, dagegen als die ungeeignetste Zeit genannt der Zeitraum kurz nach dem Sonnenaufgange oder kurz vor dem Sonnenuntergange.

Der Gebrauch des Universalinstruments und des astronomischen Theodoliths als Höheninstrument, und Gebrauch der Höheninstrumente im Allgemeinen zur Bestimmung der Zeit und Polhöhe.

§. 229.

Ihrer Einrichtung nach gestatten sowohl die Universalinstrumente, als die astronomischen Theodolithe die Lösung alle der Aufgaben, die mit dem Durchgangsinstrumente durch astronomische Beobachtungen ausgeführt werden können. Dahin gehören die bereits gelösten Probleme:

1. Die Bestimmung der Richtung des Meridians und die Aufstellung des Instruments in demselben, nach §§. 180—182.
2. Die Bestimmung des Durchgangs eines Gestirns an dem Mittelfaden des Fernrohrs, nach §§. 183—185.
3. Die Bestimmung des Abstandes der Seitenfäden vom Mittelfaden und Reduction der an den ersteren beobachteten Durchgänge auf den Mittelfaden, nach §§. 186—190.

4. Mefsung der Zenithdistanz eines terrestrischen Objects.

§. 230.

Es werde hierbei der in Fig. 100. dargestellte Höhenapparat in Anwendung gedacht. Nachdem man demselben auf einem festen Stativ eine sichere Unterlage gegeben hat, bringe man die Mitte des Azimuthalkreises senkrecht über den Beobachtungspunkt und stelle durch das aufgesetzte Niveau P die Verticalachse möglichst vertical. Dadurch wird dann auch, wenn vorausgesetzt wird, dafs der Apparat in allen Theilen berichtigt ist, das Verticalkreissystem eine verticale Lage haben und die Collimationslinie des Fernrohrs, bei dessen Rotation, eine Verticalebene beschreiben. Man bringe nun in Bezug auf das Höhenobject den

Verticalkreis auf die linke Seite der Verticalachse (Kreis links), ziehe die Druckschraube i (Fig. 101.), wodurch der Limbuskreis gegen die Büchse F, also auch gegen die Säule B gehemmt wird, recht fest an, löse die Klemmschraube γ des Alhidaden-Mikrometerwerks und stelle den zwischen den beiden Horizontalfäden liegenden Theil des Mittelfadens des Fernrohrs auf einen bestimmten Punkt des Höhenobjects zuerst ungefähr, dann aber durch Anwendung der Mikrometerschrauben b_3 und γ_1 der zugehörigen Mikrometerwerke, scharf ein. Nun lese man den Stand der vier Verniere des Verticalkreises, so wie auch den des einen Verniers am Azimuthalkreise ab. Bei den ersteren bestimme man nur am Verniere 1 die Grade, Minuten und Sekunden, an den drei anderen aber nur die Sekunden. Darauf löse man die Druckschraube b_4 und drehe den beweglichen Theil des Apparats um 180^0, was an dem abgelesenen Stande des Verniers des Azimuthalkreises erkannt werden kann. Hierdurch kommt das Verticalkreissystem auf die rechte Seite der Verticalachse (Kreis rechts). Dann löse man die Klemmschraube γ und stelle auf dieselbe Weise, wie in der ersten Lage des Apparats angegeben war, den Mittelfaden des Fernrohrs wieder auf denselben Punkt des Höhenobjects ein. Darauf lese man, wie vorhin, wieder die vier Verniere des Verticalkreises ab und setze der Ablesung des Verniers 1 360^0 zu, wenn bei dem Durchschlagen des Fernrohrs in der zweiten Lage der Nullpunkt von dem Index überschritten ist. Zieht man nun von dem Mittelwerth R der Ablesungen in der zweiten Lage, den Mittelwerth L in der ersten ab und dividiert den Rest durch 2, so ist nach §. 225. $\frac{1}{2}(R-L)$ der Zenithdistanz des Höhenobjects gleich, wenn angenommen werden kann, dafs nicht nur während der Umdrehung des Apparats um 180^0 und des Durchschlagens des Fernrohrs, der Limbuskreis G einen unveränderten Stand gegen den Vernierkreis H behalten hat, sondern auch durch die zweifache Hemmung des letzteren gegen den ersteren keine Veränderung in der Lage der Indices der Verniere gegen die Eintheilung des Limbus eingetreten ist.

§. 231.

Wenn die erstere der eben angegebenen Bedingungen bei der in Fig. 101. dargestellten Lage des Kreissystems in horizontaler Lage auch wohl ohne Weiteres als erfüllt angesehen werden kann: so ist diefs in der Zusammensetzung der Fig. 100. nicht gestattet. Denn dort ruht die senkrecht gestellte Achse des Limbuskreises auf einer Feder s, wird daher durch ihr Gewicht und das des Kreises schon die erforderliche Stabilität gewähren und durch eine vorsichtige Umdrehung der Alhidade mit deren Zapfen nicht zu verstellen sein, da die Friction des letzteren in der durchbohrten Kreisachse durch die Feder s_1 beliebig vermindert werden kann. In Fig. 100. dagegen werden beide Achsen in horizontaler Lage durch die Mutter g_1 zusammengehalten und kann daher die Achse des Limbuskreises, bei der Umdrehung des Fernrohrs mit der Alhidade, letzterer nicht die Stabilität entgegenstellen, die bei der ersteren verticalen Lage möglich war.

Was die zweite der Bedingungen betrifft, so darf nicht übersehen werden, dafs in beiden Lagen des Instruments die Einstellung des Fernrohrs auf das Höhenobject das Anziehen der Klemmschraube γ und das Umdrehen der Mikrometerschraube γ_1 nach der einen oder anderen Richtung erfordert wird. Da aber die Feststellung der Alhidade gegen den Limbuskreis an des letzteren Peripherie geschieht, also die umgedrehte Mikrometerschraube γ_1 in der Richtung der Tangente wirkt, in dieser Richtung daher auch die Bewegung des Alhidadenkreises erfolgt: so kann hierdurch leicht eine Biegung der zunächst liegenden Theile der Alhidade veranlafst werden, welche dann eine veränderte Lage des Verniers zur Folge haben wird. Diese Verstellung wird aber um so mehr erwartet werden dürfen, wenn das Mittelstück der Alhidade mit ihrem Rande durch Speichen verbunden ist. Letzterer Fehlerquelle weicht man nun dadurch aus, dafs man bei jeder Lage des Verticalkreissystems zwei Einstellungen auf das Höhenobject macht, indem man nämlich das Fadenkreuz des Fernrohrs einmal von Oben nach Unten und dann von Unten nach Oben auf das Höhenobject einstellt, wobei also die Mikrometerschraube nach entgegengesetzter Richtung gedreht wird. Liest man also bei jeder Einstellung den Stand der Verniere ab und nimmt von beiden Resultaten das arithmetische Mittel, so wird in diesem der erwähnte Fehler nicht mehr erscheinen. Wirken indessen die Hemmungen an den Mikrometerwerken gut und vollständig, so kann man einen etwa noch vorhandenen Fehler bei den s. g. Federmikrometerwerken (Figg. 77—79.), bei welchen die in der gehörigen Spannung befindliche Feder den todten Gang der Mikrometerschraube hebt, dadurch aus dem Resultate schaffen, dafs man beim Einstellen die Schraube immer nur nach einer Richtung dreht.

Die Bürgschaft über die unveränderte Lage des Limbuskreises bei der zweifachen Einstellung des Fernrohrs auf das Höhenobject erhält man aber durch die Anwendung des Versicherungsniveau's Q, welches auf die Zapfen des Fernrohrs L gestellt wird, während man letzteres durch die Klemmschraube k_6 an den Kreis schliefst und bei jeder der vier Einstellungen des Fernrohrs die beiden Enden der Luftblase abliest. Verbefsert man dann die Ablesungen der Verniere nach den entsprechenden Niveauangaben, so erhält man dadurch die Verbefserungen der Fehler, welche durch die Verstellung des Kreises entstanden sind. Es ist noch zu bemerken, dafs die negative Seite des Niveau's die rechts vom Nullpunkte liegende ist, wenn der Beobachter vor dem Verticalkreise beim Ablesen der Verniere steht.

Stellt man nach dieser Zenithdistanzbestimmung den Index des Verniers 1, der vorher vielleicht auf 0° des Limbus stand, allmälig auf 30°, 60°, 90°, oder auf 15°, 30°, 45° u. s. w. und bestimmt für jede dieser Einstellungen wieder die Zenithdistanz, so wird in dem arithmetischen Mittel aller erhaltenen Resultate auch ein Theil der Theilungsfehler eliminiert sein und zwar um so mehr, je mehr Einstellungen dieser Art gemacht worden sind.

§. 232.

Das auf diese Weise erhaltene Resultat ist aber nicht die wahre, sondern die scheinbare Zenithdistanz des Höhenobjects. Erstere findet man nach §. 227., wenn man aus der als bekannt anzunehmenden Entfernung *d* des Beobachtungsorts vom Höhenobjecte den Winkel *C*, den beide Punkte an dem Erdmittelpunkte einschliefsen, bestimmt, daraus dann die Refraction berechnet und den Zahlenwerth der gemefsenen Zenithdistanz im additiven Sinne zusetzt.

Beispiel. Es wurde mit dem Apparate der Fig. 100. die Zenithdistanz des oberen Endes der Helmstange des Marktkirchthurms zu Hannover bestimmt.

Erste Lage des Instruments. Kreis links.

Niveau	Ablesung an den Vernieren beim Rechtsumdrehen der Mikrometerschraube
+ 22,2 − 18,5	1. 355° 47′ 23″
	2. 3
	3. 6 57
	4. 43

Mittel = 355° 47′ 1″,5
Correction = ½ (3,7 . 5″) = 9″,25
Verbefsertes Mittel = 355° 47′ 10″,75,

Niveau	Ablesung an den Vernieren beim Linksumdrehen der Mikrometerschraube
+ 18,5 − 22,2	1. 355° 47′ 17″
	2. 6 57
	3. 53
	4. 47

Mittel = 355° 46′ 58″,5
Correction = − ½ (3,7 . 5″) = 9″,25
Verbefsertes Mittel = 355° 46′ 49″,25
folglich *L* = 355 47′ 0″.

Zweite Lage des Instruments. Kreis rechts.

Niveau	Ablesung an den Vernieren beim Rechtsumdrehen etc.
+ 16,8 − 24,5	1. 147° 53′ 2″
	2. 2
	3. 12
	4. 7

Mittel = 147° 53′ 5″,75
Correction = − ½ (7,7 . 5″) = 19″,25
Verbefsertes Mittel = 147° 52′ 46″,5

Niveau	Ablesung an den Vernieren beim Linksumdrehen etc.
+ 23,7 − 17,6	1. 147^0 53′ 8″
	2. 8
	3. 8
	4. 4

Mittel = 147^0 53′ 6″,75

Correction = + ½ (6,1 . 5″) = 15″,25

Verbefsertes Mittel = 147^0 53′ 22″,0.

Da aber beim Durchschlagen des Fernrohrs in der zweiten Lage des Instruments der Index des Verniers 1. den Nullpunkt der Theilung überschritten hat, so ist $R = 147^0\ 53'\ 22'',0 + 360^0 = 507^0\ 53'\ 22'',0,$

und daher die scheinbare Zenithdistanz des Objects

$$= \tfrac{1}{2}(R - L) = 76^0\ 3'\ 11''.$$

Die Entfernung des Standortes vom Object beträgt 79,186 Hann. Ruthen und der mittlere Erdhalbmefser 1362206 Ruthen.

$$\log d = 1{,}8986484.$$
$$\log 206265 = 5{,}3144251.$$
$$\text{comp.} \log r = 3{,}8657572 - 10.$$
$$\log C = 1{,}0788307.$$
$$C = 11{,}99 \text{ Sekunden},$$

folglich $\rho = 0{,}783$ Sekunden *) und daher

die wahre Zenithdistanz $= 76^0\ 3'\ 11'',78.$

Anmerkung. Ueber das Verfahren, einen Verticalwinkel nach der Repetitionsmethode zu bestimmen, wird im §. 268. das Nöthige angegeben werden.

5. Zeitbestimmung durch Beobachtungen im Meridian.

a. Aus beobachteten Culminationen der Fixsterne.

§. 233.

Hierbei wird vorausgesetzt, dafs die Polhöhe des Beobachtungsortes nahezu bekannt ist. Dann ist das anzuwendende Verfahren in den §§. 194—198. bereits ausgesprochen. Man wählt aus den astronomischen Ephemeriden zwei oder drei Sterne, deren Declination und Rectascension gegeben ist und verbindet nach §. 194. wo möglich einen nahe am Pole stehenden mit einem dem Aequator nahen Sterne oder beobachtet die beiden Culminationen eines Circumpolarsterns. Indem man also nach §. 128. aus der bekannten Polhöhe die Meridianhöhe jedes einzelnen Sterns berechnet, auf diese Höhe das Fernrohr einstellt, so kann man nach dem in den genannten Paragraphen angegebenen Verfahren den Durchgang des Sterns an jedem der Seitenfäden beobachten und nach den §§. 186—190. die Durchgangs-

*) Wenn $x = 0{,}0653$ genommen wird.

zeiten auf den Mittelfaden reducieren und erhält dadurch dann für das im §. 196. gegebene Beispiel die Werthe für t und t_1 und für a. Dann ergiebt sich auch nach §. 198. der Stand der Uhr durch die daselbst angegebenen Formeln, folglich, wenn man denselben mit dem bei einer früheren oder späteren Beobachtung gefundenen Stande vergleicht, auch ihr Gang.

b. Aus der beobachteten Culmination der Sonne.

§. 234.

Obgleich diefs Verfahren der Zeitbestimmung hinsichtlich der Genauigkeit dem im vorigen Paragraphen angegebenen nachsteht, so verdient dasselbe doch angeführt zu werden.

Man berechnet wieder nach [11] des §. 128. aus der bekannten Polhöhe des Beobachtungsorts und aus der aus den Ephemeriden genommenen Declination der Sonne für den Mittag des Beobachtungstages die Höhe des Mittelpunkts der Sonne und stellt auf diese das Fernrohr ein. Aus der gegebenen Zeitgleichung und der Culminationsdauer der Sonne, die nur in mittlere Zeit zu verwandeln ist, bestimmt man dann die Culmination des westlichen und östlichen Sonnenrandes. Wenn nun der Durchgang dieser Ränder an jedem der Seitenfäden an der nach mittlerer Zeit gehenden Uhr beobachtet und auf den Mittelfaden reduciert wird, so ergiebt sich aus der Vergleichung dieser beobachteten Durchgangszeiten mit den berechneten sogleich der Stand der Uhr. Durch eine Vergleichung des Standes mit dem einer früheren oder späteren Beobachtung erfährt man daher auch ihren Gang.

Beispiel. Für 8. Febr. 1862 ist die Zeitgleichung = + 14^m 28^s,33 und die Culminationszeit ☉ in Sternzeit = 2^m 14″,77 oder in mittlerer Zeit 2^m 14^s,40:

daher ist die Culmination des westlichen Randes ☉ = 12^h 13^m 21^s,13,

„ „ „ „ östlichen „ ☉ = 12^h 15^m 35^s,53.

Die Uhr zeigte für den westlichen Rand, auf den Mittelfaden reduciert, 12^h 12^m 32^s,5,

und „ „ östlichen „ „ „ „ „ 12^h 14^m 47^s,

der Stand der Uhr war daher im Mittel = + 48^s,5.

Die Declination ☉ war = — 14° 58′ 52″; bei der Aequatorhöhe von 37° 37′ 28″, dem Horizontpunkte am Durchgangsinstrumente von 180° 6′ und der mittleren Refraction von 2′ 18″, war daher die Höhe des Sonnenmittelpunkts am Vernier des Durchgangsinstruments der Figg. 87. u. 88. 202° 46′ 54″. Am 19. Februar 1862 zeigte sich der Stand der Uhr im Mittel = + 54^s,4, folglich ist der Gang derselben in 11 Tagen = — 5^s,9, also in 24^h = — 0^s,54.

Fig. 97.

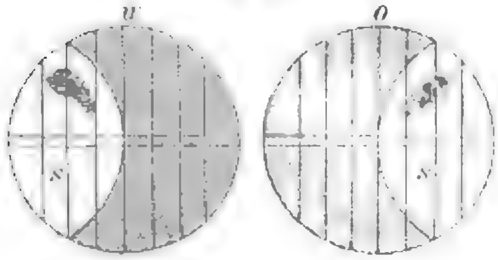


Fig. 97. zeigt in *w* und *o* die Lage des westlichen und östlichen Randes der Sonne *s s*, wie derselbe in dem Fernrohr mit prismatischem Ocular oder im gebrochenen Fernrohr am Mittelfaden im Beobachtungsmomente erscheint.

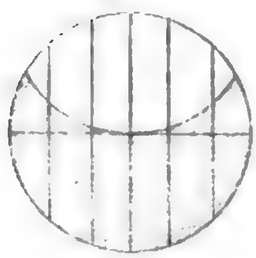
6. Zeitbestimmung durch Beobachtungen aufserhalb des Meridians.

a. Aus der Beobachtung einer einzelnen Höhe der Sonne oder eines Fixsterns.

§. 235.

Nach dem Verfahren des §. 205. beobachtet man die scheinbare Zenithdistanz des oberen oder unteren Randes der Sonne, wie diefs Fig. 107. für Fernröhre, in denen die einfallenden Lichtstrahlen durch ein Prisma rechtwinklicht abgelenkt werden, für den beobachteten oberen Rand zeigt, und bemerkt aufserdem in den Momenten, in welchen in beiden Lagen des Instruments der Rand eingestellt ist, die Beobachtungszeit der nach mittlerer Zeit gehenden Uhr. Zur Berechnung der Refraction beobachtet man aufserdem den Barometerstand, so wie die äufsere und innere Temperatur der Luft und des Quecksilbers. Addiert man nun zu der scheinbaren Zenithdistanz ζ den Werth ρ der nach §. 142. berechneten Refraction, so wie den aus den Ephemeriden genommenen Halbmefser der Sonne und subtrahiert den Werth π für die Höhenparallaxe derselben, der nach §. 145 aus der berechneten wahren Zenithdistanz $\zeta + \rho$ des Sonnenrandes und der in den Ephemeriden gegebenen Horizontalparallaxe der Sonne berechnet werden kann, so erhält man die verbefserte wahre Zenithdistanz z des Mittelpunkts der Sonne. Fällt nun erstens der Beobachtungsort mit dem Orte, für welchen die Ephemeriden berechnet sind, zusammen, so kann man aus der in den Ephemeriden für jeden wahren Mittag gegebenen Declination der Sonne, ihre Declination δ für die in mittlerer Zeit gegebene Beobachtungszeit berechnen, indem man letztere zuerst nach §. 138. in wahre Sonnenzeit verwandelt und dann aus den Datis der Ephemeriden die Zu- oder Abnahme der Declination von dem Mittage des Tages an bis zur Beobachtungszeit bestimmt. Wendet man das Nautische Jahrbuch von Bremiker an, so wird die Reduction der mittleren Zeit auf wahre erspart, da in demselben die Declination der Sonne für den mittleren Mittag und zugleich die stündliche Aenderung derselben gegeben ist. Da nun aufserdem die Polhöhe φ des Ortes bekannt ist, so kennt man in dem sphärischen Dreieck *ZNS* (Fig. 82.) die drei Seiten, woraus nach der aus der ersten der Gleichungen [5] sich ergebenden Formel

Fig. 107.



$$\cos t = \frac{\sin h - \sin \varphi \sin \delta}{\cos \varphi \cos \delta} \qquad [67.]$$

der westliche Stundenwinkel der Sonne, d. h. die wahre Zeit der Beobachtung sich berechnen und durch die bekannte Zeitgleichung in mittlere Zeit sich verwandeln läfst, aus deren Vergleichung mit der Angabe der Uhr daher der Stand derselben sich ergiebt.

Ist aber zweitens der Beobachtungsort von dem Orte für die Ephemeriden verschieden, so mufs von demselben nicht nur die Polhöhe, sondern auch der

Längenunterschied beider bekannt sein. Durch letzteren führt man zunächst den Beobachtungsort auf den Ort für die Ephemeriden zurück und verfährt dann für die Bestimmung der Declination der Sonne wie vorhin.

Da die obige Formel zur logarithmischen Berechnung sich indessen nicht eignet, so wendet man nach der sphärischen Trigonometrie dafür folgende an, wenn man $90^0 - \varphi = \psi$, $90^0 - \delta = p$ und $z + \psi + p = s$ setzt,

$$tg\, \tfrac{1}{2}\, t = \sqrt{\frac{\sin(\frac{1}{2}\, s - \psi)\sin(\frac{1}{2}\, s - p)}{\sin \frac{1}{2}\, s \sin(\frac{1}{2}\, s - z)}} \qquad [68.]$$

Da man nun weifs, auf welcher Seite des Meridians die Beobachtung angestellt ist, so kann über die Wahl des Vorzeichens von t keine Unbestimmtheit entstehen.

Beispiel. Am 8. October 1859 wurde im Observatorium der polytechnischen Schule zu Hannover die Zenithdistanz des oberen Sonnenrandes mit dem in den Fig. 104. und 105. dargestellten astronomischen Theodolith beobachtet. Die Polhöhe φ beträgt nahezu $52^0\ 22'\ 32'',5$, also $\psi = 37^0\ 37'\ 27'',5$.

Mittlere Hann. Zeit. Breguet's Regulator.		
$2^h\ 20^m\ 12^s$	Kreis rechts. Vern. 1.	$291^0\ 15'\ 55''$
	„ 2.	111 10 25
		402 26 20
	Kreis links. Vern. 1.	$64^0\ 15'\ 45''$
	„ 2.	244 9 30
2. 25. 59.		360
$4^h\ 46^m\ 11^s$		$668^0\ 25'\ 15''$
$2^h\ 23^m\ 5^s,5$ im Mittel.		402 26 20
		$265^0\ 58'\ 55''$
	4)	
	$\zeta =$	$66^0\ 29'\ 43'',75.$

Barometerstand $= 28'\ 0'',5 = 336'',5 = B$,
inneres Thermometer $13^0,25\ R = T$,
äufseres „ $15^0,75\ R = \gamma$.

Nach §. 142 ist

$$\log \rho = \log tg\, \zeta + \log \alpha + A\,(\log B + \log T) + \lambda \log \gamma.$$

$\log \alpha = 1,75884$
$A = 1.$
$\lambda = 1,00790$
$\log T = -0,00122$
$\log B = +0,00422$
$\log T + \log B = 0,00300$
$\log \gamma = -0,01561$

$\log tg\, \zeta = 0,36160$
$\log \alpha = 1,75884$
$A\,(\log T + \log B) = 0,00300$
$2,12344$
$\lambda \log \gamma = -0,01573$
$\log \rho = 2,10771$
$\rho = 128'',15 = 2'\ 8'',15$

folglich $\zeta + \rho = 66^0\ 31'\ 51'',9$

Horizontalparallaxe $\odot = 8'',59$

Höhenparallaxe $\odot\ \pi = 8'',59 \sin(\zeta + \rho) = 7'',88$

$\zeta + \rho = 66^0\ 31'\ 51'',9$

Halbmesser $\odot = 16'\ 2'',32$

$\pi = -\ 7'',88$

also $z = 66^0\ 47'\ 46'',34.$

Nach §. 135. beträgt der Längenunterschied zwischen Berlin und dem Observatorium in Sternzeit . . . . $14^m\ 37^s,12,$

also in mittlerer Zeit . . . . $14^m\ 34^s,81$

Mittel der Hann. Beobachtungszeit — 30^s, um welche die Uhr accelerierte . . . . $2^h\ 22^m\ 35^s,5$

Beobachtungszeit in Berlin in mittlerer Zeit $2^h\ 37^m\ 10^s,31$

$= 2^h,62$

Zeitgleichung 8. Oct. 0^h . . . . $= -\ 12^m\ 18^s,44,$

„ 9. „ 0^h . . . . $= -\ 12^m\ 35^s,01,$

also Aenderung derselben in 24^h . . $= 16^s,57,$

mithin „ „ „ $2^h,62$. $= 1^s,81,$

folglich Zeitgleichung 8. Oct. $2^h,62 = -\ 12^m\ 20^s,25$ *)

Die Beobachtungszeit in Berlin daher in wahre Zeit (§. 136.) . . . . $= 2^h\ 49^m\ 30^s,56$

$= 2^h,825$

Declination $\odot$ 8. Oct. 0^h . . . . $= -\ 5^0\ 46'\ 17'',2$

Nach dem Berliner Jahrbuch berechnet man die Aenderung der Decl. $\odot$ in $2^h,825$ durch:

$$48^h \,.\, 2^h,825 = \mu : x$$

$$\log 2,825 = 0,45102$$

$$\log \mu = 3,43989 \text{ **)}$$

$$\text{comp. } \log 48 = 8,31876-10$$

$$\log x = 2,20967$$

$$x = 162,06 = 0^0\ 2'\ 42'',06$$

daher Declination $\odot$ zur Beobachtungszeit $\delta = -\ 5^0\ 48'\ 59'',26$ ***)

folglich $p = 95^0\ 48'\ 59'',26.$

---

*) $1'',81$ würde von $12^m\ 18^s,44$ abzuziehen sein, wenn die Zeitgleichung vom 8. bis 9. Oct. abnähme.

**) Der Werth für $\log \mu$ findet sich in den Ephemeriden angegeben.

***) Der Werth $2'\ 42'',06$ wird von $5^0\ 46'\ 17'',2$ abzuziehen sein, wenn die Declination der Sonne kleiner wird.

Es ist also $\psi = 37^0\ 37'\ 27'',5$
$p = 95^0\ 48'\ 59'',26$
$z = 66^0\ 47'\ 46'',34$

$s = 200^0\ 14'\ 13'',1$
$\frac{1}{2}\,s = 100^0\ 7'\ 6'',5$ . . . . comp. log sin $= 0{,}00681.$
$\frac{1}{2}\,s - \psi = 62^0\ 29'\ 39''$ . . . . log sin $= 9{,}94791.$
$\frac{1}{2}\,s - p = 4^0\ 18'\ 7'',24$ . . . . log sin $= 8{,}87514.$
$\frac{1}{2}\,s - z = 33^0\ 19'\ 20'',16$ . . . comp. log sin $= 0{,}26016.$

$19{,}09002.$

log $tg\ \frac{1}{2}\,t = 9{,}54501.$
$\frac{1}{2}\,t = 19^0\ 19'\ 44'',12.$
$t = 38^0\ 39'\ 28'',24.$

oder in wahrer Zeit $t = 2^h\ 34^m\ 37^s,89$
Zeitgleichung $2^h,62 = -12\ \ 20,25$

Mittlere Zeit $= 2^h\ 22^m\ 17,\ 64$
Uhrangabe. . $= 2\ \ 23\ \ \ 5,\ \ 5$

Stand der Uhr . . $= -\ 47^s,86.$

§. 236.

Wendet man Statt der Sonne einen Fixstern an, dessen Rectascension und Declination in den Ephemeriden gegeben ist, so fällt bei der Bestimmung der wahren Zenithdistanz desselben die Correction wegen der Parallaxe und des Halbmefsers weg, da diese $= 0$ sind. Die Berechnung für t ist dann die im vorigen Paragraph angegebene. Addiert man nun zu dem in Zeit verwandelten Stundenwinkel t die Rectascension α, so erhält man nach [1] im §. 122. die Sternzeit der Beobachtungszeit, welche man dann nach §. 135. in mittlere Zeit verwandelt.

§. 237.

Da nach den vorigen Paragraphen die Bestimmung der Zeit durch die Mefsung der Zenithdistanz eines Gestirns von der Polhöhe des Beobachtungsorts abhängt, die vielleicht noch nicht genau bestimmt ist, auch die Mefsungen der Zenithdistanzen nicht fehlerfrei sind, so kommt es noch darauf an, zu bestimmen, bei welchem Azimuth ein Fehler in der Polhöhe oder der gemefsenen Höhe den geringsten Einflufs auf die Bestimmung der Zeit hat.

Differenziert man die erste Formel der Gleichungen [2]

$$\cos a = \cos b \cos c + \sin b \sin c \cos A$$

nach den Regeln des Differenziirens der trigonometrischen Functionen, indem man darin alle Gröfsen als variabel ansieht, so erhält man

$$- \sin a \, da = db \, (- \sin b \cos c + \cos b \sin c \cos A)$$
$$+ dc \, (- \sin c \cos b + \cos c \sin b \cos A)$$
$$- \sin b \sin c \sin^2 A \, dA.$$

Nun ist aber nach der zweiten und ersten Formel der Gleichungen [4]

$$- \sin b \cos c + \cos b \sin c \cos A = - \sin a \cos C,$$
$$- \sin c \cos b + \cos c \sin b \cos A = - \sin a \cos B,$$

und nach [3] $\quad \sin a \sin B = \sin b \sin A;$

folglich $\quad - \sin a \, da = - \sin a \cos C \, db - \sin a \, dc \cos B$

$$- \sin a \sin c \sin B \, dA,$$

oder $\quad da = \cos C \, db + \cos B \, dc + \sin c \sin B \, dA,$

oder $\quad da = \cos C \, db + \cos B \, dc + \sin b \sin C \, dA.$

Wird dieser Ausdruck auf das Dreieck NZS der Fig. 82. angewandt, so ist

$$dh = \cos p \, d\delta - \cos A \, d\varphi - \cos \delta \sin p \, dt,$$

oder nach der dritten Formel der Gleichungen [6]

$$dh = \cos p \, d\delta - \cos A \, d\varphi - \cos \varphi \sin A \, dt.$$

Da aber bei der vorliegenden Beurtheilung der parallactische Winkel p nicht in Betracht kommt

$$dh = - \cos A \, d\varphi - \cos \varphi \sin A \, dt. \qquad [69.]$$

Hieraus erhält man dann

$$dt = - \frac{1}{\cos \varphi \sin A} \, dh - \frac{1}{\cos \varphi \, tg \, A} \, d\varphi. \qquad [70.]$$

Die Coefficienten von dh und $d\varphi$ werden aber desto kleiner, je mehr sich das Azimuth A dem Werthe $\pm 90^0$ nähert. Da nun für diesen Fall $tg \, A = \infty$, so hat ein Fehler in der Polhöhe, wenn die gemefsene Sonnen- oder Sternhöhe im ersten Verticale vorgenommen wird, gar keinen Einflufs auf die Bestimmung der Zeit.

Da nun ferner bei $A = \pm 90^0$, $\sin A$ ein Maximum, mithin bei demselben φ der Coefficient von dh ein Minimum ist, so äufsert ein bei dem Mefsen der Sonnen- oder Sternhöhe gemachter Fehler auch den möglichst kleinsten Einflufs auf die Bestimmung der Zeit. Es ist daher immer am zweckmäfsigsten, die Beobachtungen der Höhe der Gestirne zu Zeitbestimmungen entweder im ersten Verticale oder doch möglichst in dessen Nähe vorzunehmen.

Da ferner nach dem Vorhergehenden der Coefficient von dh nach [6] auch gleich $\frac{1}{\cos \delta \sin p}$ ist, so folgt noch, dafs man bei Sternhöhen möglichst Sterne mit grofser Declination zu vermeiden haben wird, die Aequatorealsterne daher am geeignetsten zur Zeitbestimmung sind.

Endlich folgt auch noch, dafs je kleiner $\cos \varphi$ in der obigen Gleichung für dt wird, d. h. je gröfser die Polhöhe des Beobachtungsortes ist, um so unsicherer die Zeitbestimmung ausfallen wird.

b. Durch correspondierende Höhen.

§. 238.

Man beobachte mit einem der Höheninstrumente eine beliebige, aber doch dieselbe Höhe h eines in den Ephemeriden angegebenen Sterns zu beiden Seiten des Meridians und bemerke die zugehörigen Uhrzeiten u und u_1 der nach Sternzeit gehenden Uhr, so wird, da nach der ersten Formel der Gleichungen [5]

$$\sin h = \sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \cos t$$

$$\text{und } \sin h_1 = \sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \cos t_1,$$

also auch $t = - t_1$ ist, $\frac{1}{2} (u_1 + u)$ die Zeit sein, zu welcher der Stern im Meridian war. Da diese aber auch der um die tägliche Aberration verbesserten Rectascension α gleich sein mufs, so ist der Stand der Uhr durch

$$\alpha - \tfrac{1}{2} (u_1 + u)$$

ausgedrückt.

Diese Methode der Zeitbestimmung hat insofern vor der vorhergehenden den Vorzug, als man weder der Polhöhe, noch der Declination des Sterns, also auch nicht des Längenunterschiedes zwischen dem Beobachtungsorte und dem Orte, für welchen die Ephemeriden gelten, bedarf. Es wird die Methode deshalb dann mit Vortheil angewandt, wenn die Lage des Beobachtungsortes ganz unbekannt ist. Da man selbst der Höhe des Sterns nicht bedarf, so wird man die Beobachtung auch mit einem Höhenapparate ausführen können, dessen Fernrohr keinen Höhenkreis enthält, wenn sonst dieser nicht zum vorherigen Einstellen des Fernrohrs auf die Meridianhöhe wünschenswerth wäre.

§. 239.

Nach §. 237. ist

$$dh = - \cos A \, d\varphi - \cos \varphi \sin A \, dt$$

und ebenso $$dh_1 = - \cos A_1 \, d\varphi - \cos \varphi \sin A_1 \, dt_1;$$

da der bei der Zeitbestimmung gemachte Fehler auf den Beobachtungsfehler der Höhe übertragen werden kann, so ist auch $dt = dt_1$, und da aufserdem $A = - A_1$ ist,

$$\text{so ist } dh = - \cos A_1 \, d\varphi + \cos \varphi \sin A_1 \, dt$$

$$dh_1 = - \cos A_1 \, d\varphi - \cos \varphi \sin A_1 \, dt,$$

folglich $$dt = \frac{1/2 \, (dh - dh_1)}{\cos \varphi \sin A_1}, \qquad [71.]$$

woraus wieder folgt, dafs zur Bestimmung der Zeit aus correspondierenden Höhen, Sterne genommen werden müfsen, deren Azimuth nahe $\pm 90^0$ ist.

§. 240.

Die im §. 238. angegebene Zeitbestimmung wird nur so lange gültig sein, als das beobachtete Gestirn in der Zwischenzeit $t_1 - t$ seine Declination nicht

ändert, was nur von Fixsternen angenommen werden kann. Dafs aber bei der Sonne, deren Declination zu gewifsen Zeiten sich schon, selbst in kleineren Zeiträumen, sehr merklich ändert, nicht zu gleichen Höhen gleiche Stundenwinkel gehören, ist schon im §. 130. erwähnt. Wächst ihre Declination, so wird das Mittel der Uhrzeiten erst nach Mittag, dagegen vor Mittag fallen, wenn die Declination im Abnehmen ist. Die dem Mittel der Uhrzeiten hinzuzufügende Correction wird nun die Mittagsverbefserung genannt.

Bezeichnet δ die Declination ☉ im Mittage und $\Delta\delta$ die Aenderung derselben in der Zeit vom Mittage bis zur genommenen Höhe, so erhält man nach [5] Formel 1

$$\sin h = \sin\varphi \sin(\delta - \Delta\delta) + \cos\varphi \cos(\delta - \Delta\delta) \cos t$$
$$\sin h = \sin\varphi \sin(\delta + \Delta\delta) + \cos\varphi \cos(\delta + \Delta\delta) \cos t_1.$$

Ist ferner $U = \frac{1}{2}(u_1 + u)$ die Uhrzeit, zu welcher die Sonne durch den Meridian geht, wenn ihre Declination ungeändert geblieben wäre, so nennt man U den unverbefserten Mittag.

Bezeichnet man die halbe Zwischenzeit $\frac{1}{2}(u_1 - u)$ der Beobachtungen durch τ, die Mittagsverbefserung durch $\varkappa$, so ist der Augenblick des wahren Mittags $= U + \varkappa$ und daher

$$t = \tfrac{1}{2}(u_1 - u) + \varkappa = \tau + \varkappa$$

und
$$t_1 = \tfrac{1}{2}(u_1 - u) - \varkappa = \tau - \varkappa,$$

folglich wird auch

$$\sin h = \sin\varphi \sin(\delta - \Delta\delta) + \cos\varphi \cos(\delta - \Delta\delta) \cos(\tau + \varkappa)$$

und
$$\sin h = \sin\varphi \sin(\delta + \Delta\delta) + \cos\varphi \cos(\delta + \Delta\delta) \cos(\tau - \varkappa),$$

mithin durch Gleichsetzung beider Ausdrücke und Substitution der Werthe für $\sin(\delta - \Delta\delta)$, $\cos(\delta - \Delta\delta)$ u. s. w.

$$0 = \sin\varphi \cos\delta \sin\Delta\delta - \cos\varphi \sin\delta \sin\Delta\delta \cos\tau \cos\varkappa + \cos\varphi \cos\Delta\delta \cos\delta \sin\tau \sin\varkappa.$$

Da nun bei der Sonne $\varkappa$ immer eine sehr kleine Gröfse ist, so kann $\cos\varkappa = 1$ gesetzt und $\sin\varkappa$ mit dem Bogen vertauscht werden; man erhält daher

$$\varkappa = -\left(\frac{\operatorname{tg}\varphi \operatorname{tg}\Delta\delta}{\sin\tau} - \frac{\operatorname{tg}\delta \operatorname{tg}\Delta\delta}{\operatorname{tg}\tau}\right),$$

oder, wenn man $\operatorname{tg}\Delta\delta$ mit $\Delta\delta$ vertauscht,

$$\varkappa = -\left(\frac{\operatorname{tg}\varphi}{\sin\tau} - \frac{\operatorname{tg}\delta}{\operatorname{tg}\tau}\right)\Delta\delta.$$

In dem Berliner Jahrbuche bezeichnet nun μ die Aenderung der Declination der Sonne in 48 Stunden, daher ist, da man dieselbe hier der Zeit proportional setzen kann,

$$\Delta\delta = \frac{\mu}{48}, \ \tau,$$

folglich in Zeitsekunden

$$\varkappa = \frac{\mu}{720}\left(-\frac{\tau}{\sin\tau}\operatorname{tg}\varphi + \frac{\tau}{\operatorname{tg}\tau}\operatorname{tg}\delta\right),$$

$$\text{oder wenn } \frac{1}{720} \cdot \frac{\tau}{\sin \tau} = A$$

$$\frac{1}{720} \cdot \frac{\tau}{\operatorname{tg} \tau} = B$$

gesetzt wird, ist die Mittagsverbefserung durch den Ausdruck

$$\varkappa = - A\mu \operatorname{tg} \varphi + B\mu \operatorname{tg} \delta \qquad [72.]$$

gegeben.

Zur Erleichterung der Rechnung wendet man Tafeln von Gaufs an, die mit dem Argumente der halben Zwischenzeit τ die Logarithmen für A und B von Minute zu Minute enthalten; für μ ist sein log in dem Berliner Jahrbuche für jeden Mittag angegeben. Diese Tafel enthält u. a. Schumacher's Sammlung von Hülfstafeln; herausgegeben von Dr. Warnstorff. Altona, 1845. S. 99.

Beispiel. Am 12. Mai 1859 wurden im Observatorium der polytechnischen Schule zu Hannover correspondierende Sonnenhöhen bestimmt durch

$$u = 11^h\ 47^m\ 10^s,5$$
$$u_1 = 12\ \ 7\ \ 20,5$$
$$\tfrac{1}{2}(u_1 + u) = 11^h\ 57^m\ 15^s,5 = U.$$

Für die halbe Zwischenzeit $\tau = 10^m\ 5^s$ erhält man

$\log A = 7{,}7248\ (n)$	$\log B = 7{,}7244$
„ $\mu = 3{,}2605$	„ $\mu = 3{,}2605$
$\operatorname{tg} \varphi = 0{,}1131$	$\operatorname{tg} \delta = 9{,}5137 - 10$
$1{,}0984\ (n).$	$0{,}4986$
$- A\mu \operatorname{tg} \varphi = - 12^s,54.$	$B\mu \operatorname{tg} \delta = 3^s,15$

folglich $\varkappa = - 9^s,39$;

da nun $U = 11^h\ 57^m\ 15^s,5$ ist,

so ist $11^h\ 57^m\ 5^s,61$ der mittlere Mittag nach der Uhrangabe; da aber die Zeitgleichung am 12. Mai $0^h = - 3^m\ 51^s,1$, der mittlere Mittag also $11^h\ 56^m\ 8^s,9$ war, so ist der Stand der Uhr $= - 56^s,71$.

Anmerkung. Es kann nicht die Absicht sein, hier sämmtliche Methoden zur Zeitbestimmung, wie sie der praktische Astronom zur Anwendung bringt, anzugeben. Man findet solche, meistens auch mit Rechenbeispielen begleitet, u. a. in den schon öfters citierten Werken von Brünnow und Sawitsch, auch in Jahn's praktischer Astronomie, Berlin 1834.

7. Bestimmung der Polhöhe.

a. Durch die gemefsene Höhe eines Sterns oder der Sonne.

§. 241.

Nach dem im §. 124. gegebenen Begriffe der Polhöhe eines Ortes ist die Lage des Zeniths zum Pol oder des Horizonts zum Aequator zu bestimmen, was aber nur durch Höhenmefsungen geschehen kann.

1. Bestimmt man nach §§. 205. u. 206. die wahre Zenithdistanz z oder die wahre Höhe h eines aufserhalb des Meridians stehenden Sterns, dessen Declination

in den Ephemeriden gegeben ist, und zugleich die Zeit t der Beobachtung, so giebt die Formel 1 von den Gleichungen [5]

$$\sin h = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos t$$

die Möglichkeit der Bestimmung von φ.

Man setze

$$\sin \delta = M \sin N$$
$$\text{und } \cos \delta \cos t = M \cos N,$$
$$\text{so ist } \sin h = M \sin \varphi \sin N + M \cos \varphi \cos N,$$
$$\text{oder } \sin h = M \cos (\varphi - N),$$
$$\text{folglich } \cos (\varphi - N) = \frac{\sin h}{M} = \frac{\sin N}{\sin \delta} \sin h.$$

Da nun aus den beiden obigen Hülfsausdrücken

$$\operatorname{tg} N = \frac{\operatorname{tg} \delta}{\cos t}$$

folgt, so ist N bekannt und daher φ zu bestimmen.

Es wird aber nur noch anzugeben sein, ob man $+ (\varphi - N)$, oder $- (\varphi - N)$, d. h. $N - \varphi$ zu nehmen hat. Denkt man sich von dem Sterne S in Fig. 82. auf den Meridian $NZAH$ eine sphärische Normale gefällt, so wird, wenn ihr Fufspunkt auf die Südseite des Zeniths Z fällt, $+ (\varphi - N)$, dagegen $- (\varphi - N)$ zu nehmen haben, wenn der erwähnte Punkt nördlich vom Zenith, oder auch nördlich vom Pol N den Meridian trifft.

2. Ist die Höhe oder die Zenithdistanz z des Gestirns im Meridiane selbst gemefsen, so folgt aus den Gleichungen [10] — [14] des §. 128.

$$\varphi = \delta \pm z$$

je nachdem der Stern südlich oder nördlich vom Zenith durch den Meridian geht. Bei der Beobachtung eines Circumpolarsterns in der unteren Culmination würde

$$\varphi = (180^0 - \delta) - z$$

sein.

3. Mifst man die Zenithdistanz z oder die Höhe h eines Circumpolarsterns in beiden Culminationen und verbefsert sie wegen der Refraction, so ist das arithmetische Mittel der verbefserten Höhen der Polhöhe gleich.

§. 242.

Zur Beurtheilung des Einflufses, den ein Fehler in der Bestimmung von h oder t auf die Polhöhe haben wird, dient wieder die im §. 237. angegebene Gleichung [69]

$$dh = - \cos A \, d\varphi - \cos \varphi \sin A \, dt,$$

woraus folgt

$$\delta\varphi = - \frac{dh}{\cos A} - \cos \varphi \operatorname{tg} A \, dt \qquad [73.]$$

Da in derselben nun die Coefficienten von dh und dt am kleinsten werden, wenn $A = o$ oder 180^0 ist, so wird die Polhöhe um so sicherer ge-

funden, **wenn das zu beobachtende Gestirn im Meridiane selbst oder doch demselben so nahe als möglich liegt.**

b. Durch Circummeridianhöhen.

§. 243.

Da die Zahl der Meridianbeobachtungen immer nur eine beschränkte bleibt, die Höhen der Gestirne im Meridiane ihr Maximum erreichen, in der Nähe desselben sich daher nur langsam ändern, so ist es zur Vermehrung der Polhöhenbestimmungen vortheilhafter, mehrere Höhen oder Zenithdistanzen in der Nähe des Meridians zu meſsen, um sie durch Hinzufügung einer geringen Correction als directe Meridianbeobachtungen benutzen zu können. Deshalb nennt man diese Methode, die Polhöhe zu bestimmen, die der Circummeridianhöhen.

Nun ist nach der ersten Formel der Gleichungen [5] für einen Stern, dessen Declination $= \delta$ ist,

$$\cos z = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos t$$

oder, da $\cos t = 1 - 2 \sin \frac{1}{2} t^2$ ist,

$$\cos z = \cos (\varphi - \delta) - 2 \cos \varphi \cos \delta \sin \tfrac{1}{2} t^2.$$

Wird die im Meridiane gemeſsene Zenithdistanz desselben Sterns, der auf der Südseite des Zeniths culminierend angenommen werden mag, $= \zeta$ gesetzt, so ist, da nach §. 241., 2. $\varphi = \delta + \zeta$, also $\cos \zeta = \cos (\varphi - \delta)$ ist,

$$\cos z - \cos \zeta = - 2 \cos \varphi \cos \delta \sin \tfrac{1}{2} t^2,$$

$$\text{oder } \sin \tfrac{1}{2} (\zeta + z) \sin \tfrac{1}{2} (\zeta - z) = - \cos \varphi \cos \delta \sin \tfrac{1}{2} t^2.$$

Setzt man nun $\zeta - z = \Delta z$, so wird

$$\tfrac{1}{2} (\zeta + z) = \zeta - \tfrac{1}{2} \Delta z,$$

also $\sin (\zeta - \frac{1}{2} \Delta z) \sin \frac{1}{2} \Delta z = - \cos \varphi \cos \delta \sin \frac{1}{2} t^2$,

$$\text{folglich } \sin \tfrac{1}{2} \Delta z = - \frac{\cos \varphi \cos \delta}{\sin (\zeta - \frac{1}{2} \Delta z)} \sin \tfrac{1}{2} t^2.$$

Ist nun t, und daher auch Δz sehr klein, so wird

$$\Delta z = - \frac{\cos \varphi \cos \delta}{\sin (\varphi - \delta)} \, 2 \sin \tfrac{1}{2} t^2 \; 206265 \text{ Sekunden.}$$

Eben so ist für Culminationen auf der Nordseite des Zeniths

$$\text{in der oberen: } \Delta z = - \frac{\cos \varphi \cos \delta}{\sin (\delta - \varphi)} . \, 2 \sin \tfrac{1}{2} t^2 \; 206265 \text{ Sekunden}$$

$$\text{und in der unteren: } \Delta z = + \frac{\cos \varphi \cos \delta}{\sin (\delta + \varphi)} \, 2 \sin \tfrac{1}{2} t^2 \; 206265 \text{ Sekunden.}$$

Dann wird beziehungsweise

$$\left.\begin{aligned} \text{die Polhöhe } \varphi &= z + \delta - \frac{\cos \varphi \cos \delta}{\sin (\varphi - \delta)} \, 2 \sin \tfrac{1}{2} t^2 \; 206265 \text{ Sekunden} \\ \varphi &= z + \delta - \frac{\cos \varphi \cos \delta}{\sin (\delta - \varphi)} \, 2 \sin \tfrac{1}{2} t^2 \; 206265 \text{ Sekunden} \\ \varphi &= z + \delta + \frac{\cos \varphi \cos \delta}{\sin (\delta + \varphi)} \, 2 \sin \tfrac{1}{2} t^2 \; 206265 \text{ Sekunden} \end{aligned}\right\} \quad [74.]$$

Zu der Erleichterung der Berechnung des Factors 2 sin $\frac{1}{2}\ t^2$ 206265 wendet man Hülfstafeln an, die u. a. in **Schumacher's** Sammlung von Hülfstafeln u. s. w. S. 39. sich finden. Da aber die Polhöhe in dem Factor $\frac{\cos\varphi\cos\delta}{\sin(\varphi-\delta)}$ vorkommt, so mufs ein genäherter Werth von φ schon bekannt sein. Damit ferner der Nenner sin $(\varphi - \delta)$ nicht sehr vergröfsert wird, mufs man auch Sterne in der Nähe des Zeniths, d. h. solche, bei denen δ nahe gleich φ ist, vermeiden. Ist Δz so grofs, dafs man den Bogen nicht mit dem Sinus vertauschen kann, so mufs sein Werth aus dem Ausdrucke dafür

$$\sin\tfrac{1}{2}\Delta z = -\frac{\cos\varphi\cos\delta}{\sin(\zeta - \frac{1}{2}\Delta z)}\sin\tfrac{1}{2}t^2$$

berechnet werden.

Anmerkung. Ueber andere Methoden der Bestimmung der Polhöhe, so wie über solche, nach welchen die Zeit und die Polhöhe zugleich bestimmt werden, sind wieder die im §. 240. angedeuteten astronomischen Werke nachzusehen. Aufserdem verweise ich den Leser auf die Abhandlungen vom Prof. Hansen in Schumacher's astronomischen Nachrichten VI. S. 101 und 421: über die Bestimmung der Polhöhe durch ein in der Richtung von Osten nach Westen aufgestelltes Passageninstrument nach der Bessel'schen Methode*), und über den Gebrauch des Passageninstruments überhaupt, auf die Abhandlung von Bessel: über den allgemeinen Gebrauch des Passageninstruments in Schumacher's astronom. Nachrichten VI. 221.

Schlufsanmerkung. Die Kenntnifs und die Berichtigung der Fehler der unter *B* beschriebenen Universalinstrumente in der Zusammensetzung, in welcher sie als Azimuthalinstrumente angewandt werden, so wie auch deren Gebrauch soll in der folgenden Abtheilung V. angegeben werden.

*) Schumacher's astronom. Nachrichten III. S. 9.

V. Die Azimuthalinstrumente.

§. 244.

Von den bereits beschriebenen geometrischen Instrumenten gehört zu den Azimuthalinstrumenten, dem im §. 114. gegebenen Begriffe gemäfs, zunächst die in der Fig. 101. dargestellte Zusammensetzung des Breithaupt'schen Universalinstruments als Horizontalwinkelmefser (§§. 213. u. f.).

Da das Kreissystem desselben ein zweifaches und aufserdem der Limbuskreis noch mit einem s. g. unteren Fernrohr verbunden werden kann, so gehört der Apparat in dieser Zusammensetzung zu den **Multiplicationstheodolithen** (§. 114.). Ferner gehört dahin der Untertheil des in Fig. 102. dargestellten Apparats, wenn mit demselben das in Fig. 103. bezeichnete Fernrohr, Statt des Obertheils *FGHJL*, verbunden ist und wird diese Zusammensetzung dann einen Repetitionstheodolithen darstellen (§§. 215—217.). Endlich kann zu derselben Gattung auch der durch die Figg. 104. und 105. bezeichnete astronomische Theodolith (§. 219.) gezählt werden, wenngleich das gebrochene Fernrohr für terrestrische Beobachtungen namentlich Anfängern weniger Bequemlichkeit darbietet.

A. Die Repetitionstheodolithe.

1. Der Repetitionstheodolith mit mikroskopischer Ablesung von Meyerstein.

§. 245.

In den Figg. 108—110. ist ein Meyerstein'scher Repetitionstheodolith mit mikroskopischer Ablesung im Viertel natürlicher Gröfse dargestellt, der, nach Abnahme des Fernrohrs und des Aufsetzniveau's, an die Stelle des Untertheils (§. 152.) des in den Figg. 87. und 88. dargestellten Durchgangsinstruments gebracht und mit dem Obertheil desselben (§. 153—157.) verbunden, ein Universalinstrument abgeben würde. Fig. 108. giebt die vordere Ansicht, Fig. 109. die Seitenansicht, mit Weglafsung des Dreifufses und Stativs, und Fig. 110. den Grundrifs des Apparats, ohne Stativ, Fernrohr und Libelle.

Zwei der Stellschrauben des Dreifufses AAA treten mit ihren Spitzen in keilförmige Einschnitte der Unterlegplatten aaa, die auf dem hölzernen Kopfe B des Stativs unabänderlich befestigt sind, die dritte in eine konische Vertiefung derselben. Auf dem Dreifufse erhebt sich die durchbohrte Säule C, die der in den Figg. 87. und 88. analog construiert ist. Sie nimmt die Achsen des Limbuskreises DD und der an beiden Seiten des Mittelstücks zu zwei Armen EE_1 EE_1 sich erweiternden Fufsplatte der Stützen des Fernrohrs auf, an welchen auf bekannte Weise die Achsen mittelst Flanschen befestigt sind. Die Achsen werden wieder von Federn b und c getragen, deren Arme in den Armen des Dreifufses festgeschraubt sind und durch Spiralfedern, welche die Schrauben umhüllen, eine gleichmäfsige Spannung erhalten. Der Kopf der Stellschrauben trägt, wie in Figg. 87. und 88., eine Eintheilung in hundert gleiche Theile, für welche der Index die Kante eines auf den Armen AAA befestigten dreiseitigen Prisma's $\alpha\alpha\alpha$ darbietet. (Vgl. §. 76.) Auf dem mittleren cylindrischen Theile der Fufsplatte EE ist mittelst versenkter Schrauben der Mikroskopenträger FF unabänderlich befestigt, so dafs durch eine Rotation der stählernen Verticalachse in der durchbohrten Messingachse des Kreises der Fufsplatte EE auch dem Mikroskopenträger eine solche mitgetheilt wird. Die Enden der Fufsplattenarme sind nach Oben sphärisch gekrümmt und bilden in den gabelförmigen Theilen GG_1, GG_1 die Stützen des Fernrohrs, welche wieder nach Oben zu Parallelepipeden sich vereinigen und die Achsenlager HH der Zapfen der Umdrehungsachse JJ des Fernrohrs K bilden. Das eine der Lager ist auf bekannte Weise verstellbar eingerichtet und mit den nöthigen Druck- und Zugschrauben versehen. Jeder gabelförmige Theil der Stützen hat einen seitlichen Fortsatz gg_1 gg_1 zur Aufnahme der Mikrometerschraube g_2 und der zur Spiralfeder gehörigen Mutter g_3 für die bequeme Umlegung der Fernrohrachse in ihren Lagern und die feine Einstellung des Fernrohrs auf ein Richtobject. Zu der Hemmung der groben Bewegung dient der von dem geschlofsenen Ringe ausgehende Hemmungsarm i und die Prefsschraube i_1, welche eine Bremsplatte gegen den Zapfen führt.

Fig. 108.

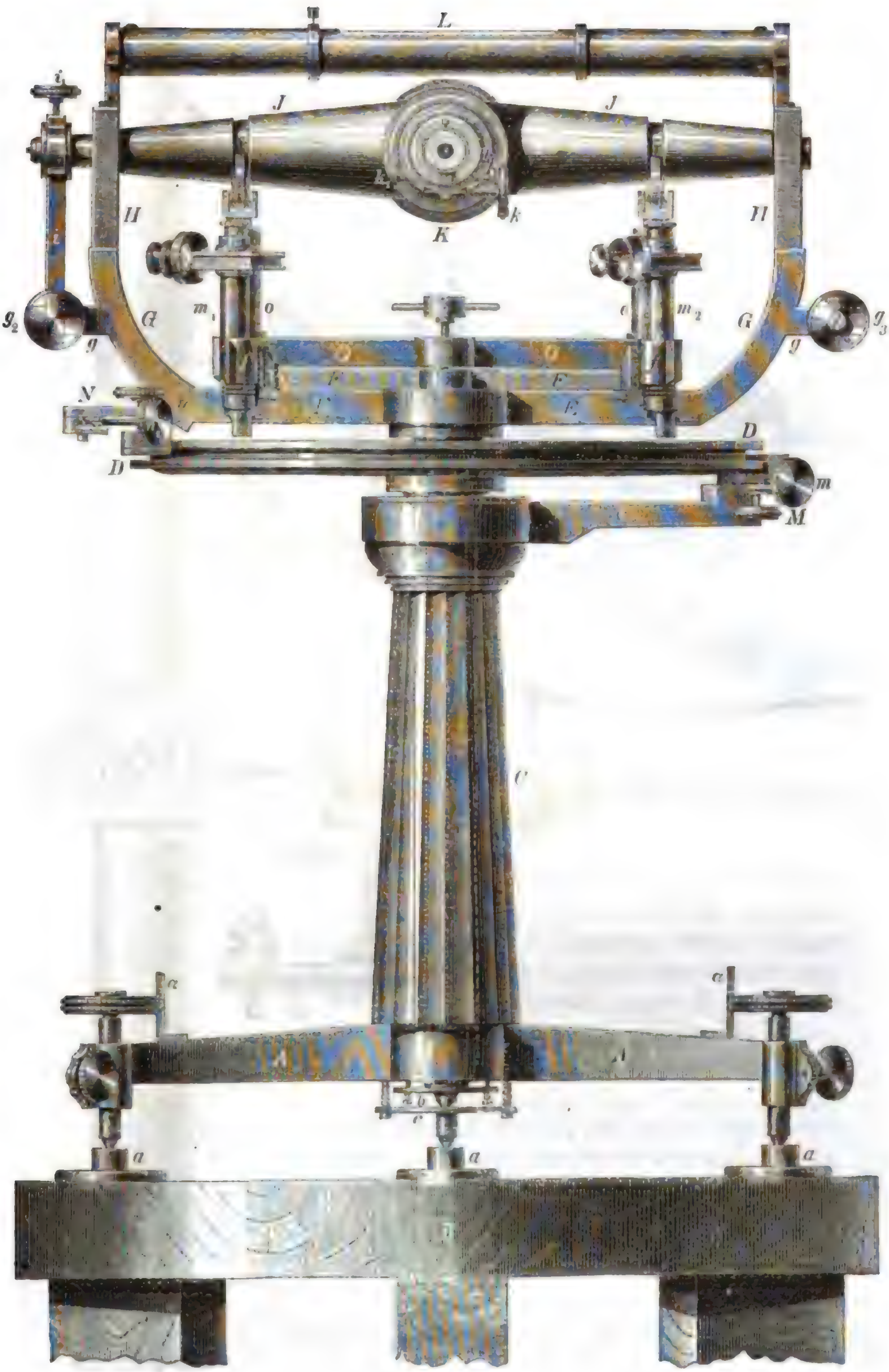


Fig. 109.

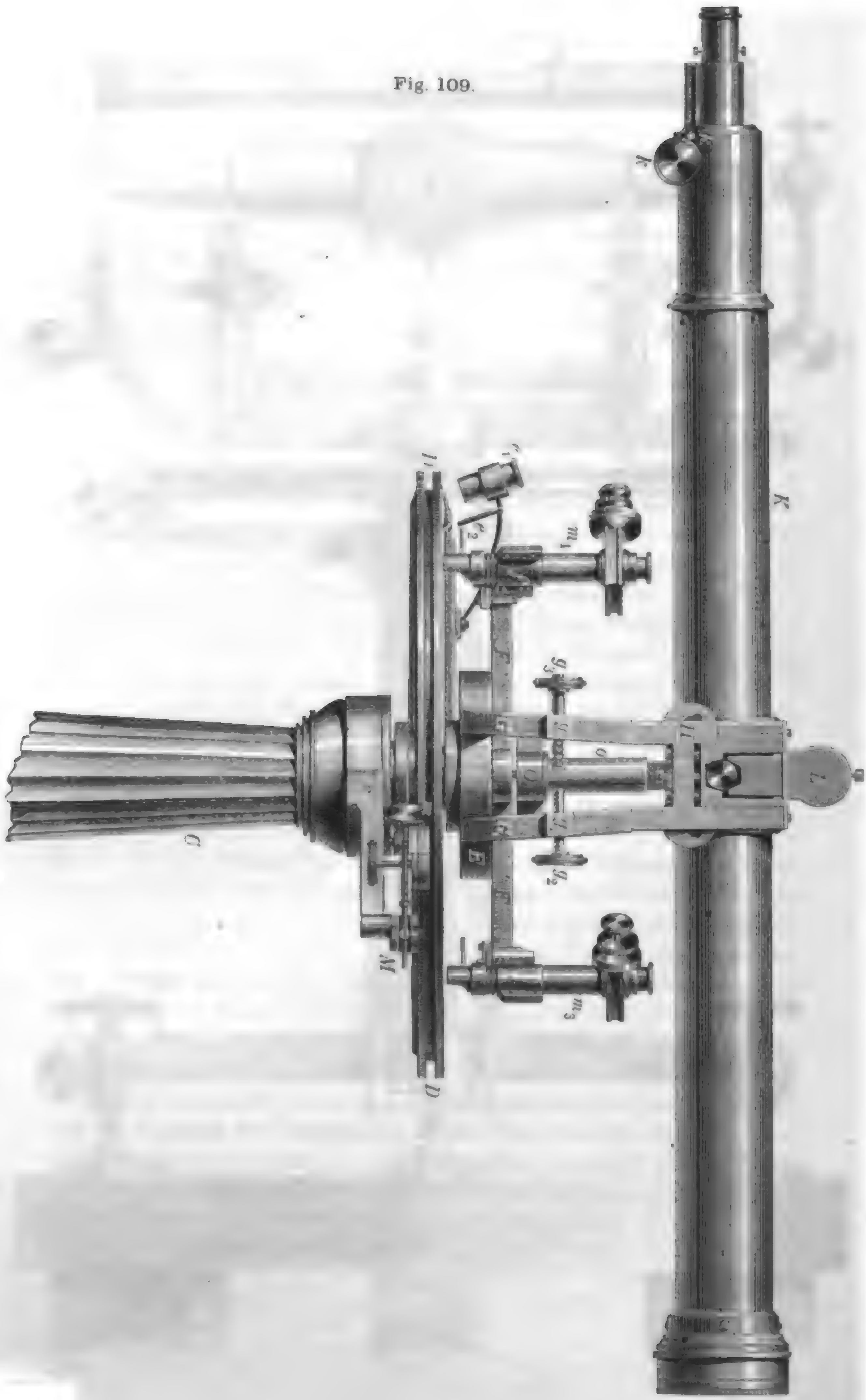


Fig. 110.



Die oberen Flächen der Lager sind mit Deckplatten versehen, durch deren Einschnitte die Füfse der Aufsetzlibelle L treten und letzterer eine sichere Stellung auf den Zapfen gewähren.

Der Mikroskopenträger besteht aus vier sich in normaler Richtung kreuzenden Armen, die von der mittleren Scheibe ausgehen. Mittelst eines Schlofses sind ihre Enden mit den Armen der Hülsen ff verbunden, welche die Mikroskope $m_1 m_2 m_3 m_4$ aufnehmen und über deren Einrichtung §. 65. und Figg. 43. und 44. zu vergleichen ist. In jeder der Figg. 108. und 109. sind nur zwei der Mikroskope dargestellt.

Der silberne Limbus des Kreises DD von $13\frac{1}{2}$ Zoll innerem Durchmefser ist unmittelbar von 6 zu 6 Minuten getheilt und, vom Mittelpunkte aus betrachtet, von Links nach Rechts mit wachsender Bezifferung bezeichnet. Der Rand desselben ist mit dem cylindrischen Mittelstück durch acht starke Speichen zusammengesetzt, von denen aber nur in Fig. 110. einige gesehen werden können. Zum

Ablesen der Grade und Gradtheile dient ein zwischen Schraubenspitzen befestigter und daher etwas verstellbarer Vernier *v* (Fig. 110.), der 10 Sekunden angiebt und an einer rahmenförmigen Alhidadenplatte *ee* angebracht ist; letztere ist an der Fufsplatte *EE* befestigt und wird also mit ihr zugleich horizontal gedreht. Zum Ablesen der Theilstriche dient die auf dem Alhidadenrahmen befestigte und zugleich drehbare Loupe e_1 mit der Blendung e_2.

Die Schraubenmikroskope geben für das Intervall von 6 Minuten nahezu zwei Umdrehungen, mithin giebt ein Trommeltheil ungefähr 3 Sekunden an.

Nach den im §. 66. angegebenen Bestimmungen des Werthes der Schraubengänge der verschiedenen Schraubenmikroskope sind auch bei dem vorliegenden Horizontalkreise, wie nach §. 156. beim Verticalkreise des Durchgangsinstruments, durch die ganze Kreisperipherie die Einstellungen und Ablesungen von 10 zu 10 Graden ausgeführt, wonach im Mittel

für das Mikroskop	m_1	ein Trommeltheil	= 3,019
	m_2	„ „	= 2,992
	m_3	„ „	= 2,911
	m_4	„ „	= 3,097

Sekunden enthält.

Die Mikrometerwerke *M* und *N* für die Hemmung der groben Bewegung und die feine Einstellung des Kreises *DD* gegen die Säule *C* des Dreifufses, so wie des Mikroskopenträgers *FF* gegen den Kreis, bestehen aus der Halterplatte mit der Klemmschraube und haben im Allgemeinen die bekannte Einrichtung. Für das erstere geht von der Säule *C* der Arm *c* aus, der die Klemme für die Mutter der Mikrometerschraube *m* trägt. Für das letztere ist an dem einen Ende der Fufsplatte *EE* eine Platte *n* mit einem Arme befestigt, an welchem ebenfalls die Klemme für die Mutter der Mikrometerschraube n_1 sich befindet. In Fig. 109. ist nur das Mikrometerwerk *M* dargestellt. Durch diese Einrichtung wird, wie schon bei der Beschreibung des astronomischen Theodoliths im §. 219. erwähnt wurde, die Spannung, welche durch das Anziehen der Klemmschrauben und die nachfolgende Wirkung der Mikrometerschrauben in den benachbarten Theilen entsteht, nicht unmittelbar auf den Kreis und den Mikroskopenträger, sondern nur auf die Arme der Dreifufsbüchse und der Grundplatte *EE* übertragen.

Das Objectiv des achromatischen Fernrohrs hat, wie das des Durchgangsinstruments, 36 Linien Oeffnung mit 32 Zoll Brennweite; die Vergröfserung desselben = 70. Das Ocular ist ein orthoskopisches, über dessen Construction §. 52. und Fig. 34. zu vergleichen ist. Das Fadennetz besteht aus zwei nahe zusammengestellten Verticalfäden, die von einem Horizontalfaden normal geschnitten werden. Mittelst eines Getriebkopfs *k* kann die Ocularröhre in der Objectivröhre bewegt werden. Aufserdem finden sich an dem Ende des Objectivrohrs zwei kleine Stellschrauben $k_1 k_1$ zur richtigen Stellung der Fäden des Fadenkreuzes.

Die Aufsetzlibelle L giebt wie die des Durchgangsinstruments einen Ausschlag von 4,66 Sekunden auf einen Libellentheil.

Theils um die Last des schweren Fernrohrs auf die stählerne Verticalachse zu verlegen, theils um die Biegung der Rotationsachse zu verhindern, ruht die letztere auf Frictionsrollen $vvvv$, die mit der Balancierung $OOoo$ in Verbindung stehen und über deren genaue Einrichtuns §. 93. und Fig. 69. zu vergleichen ist.

Zum Transport des Theodolith dienen zwei Kasten, von denen der eine das Fernrohr und die Libelle, der andere die übrigen Theile desselben aufnimmt.

2. Der Repetitionstheodolith von Pfaff.

§. 246.

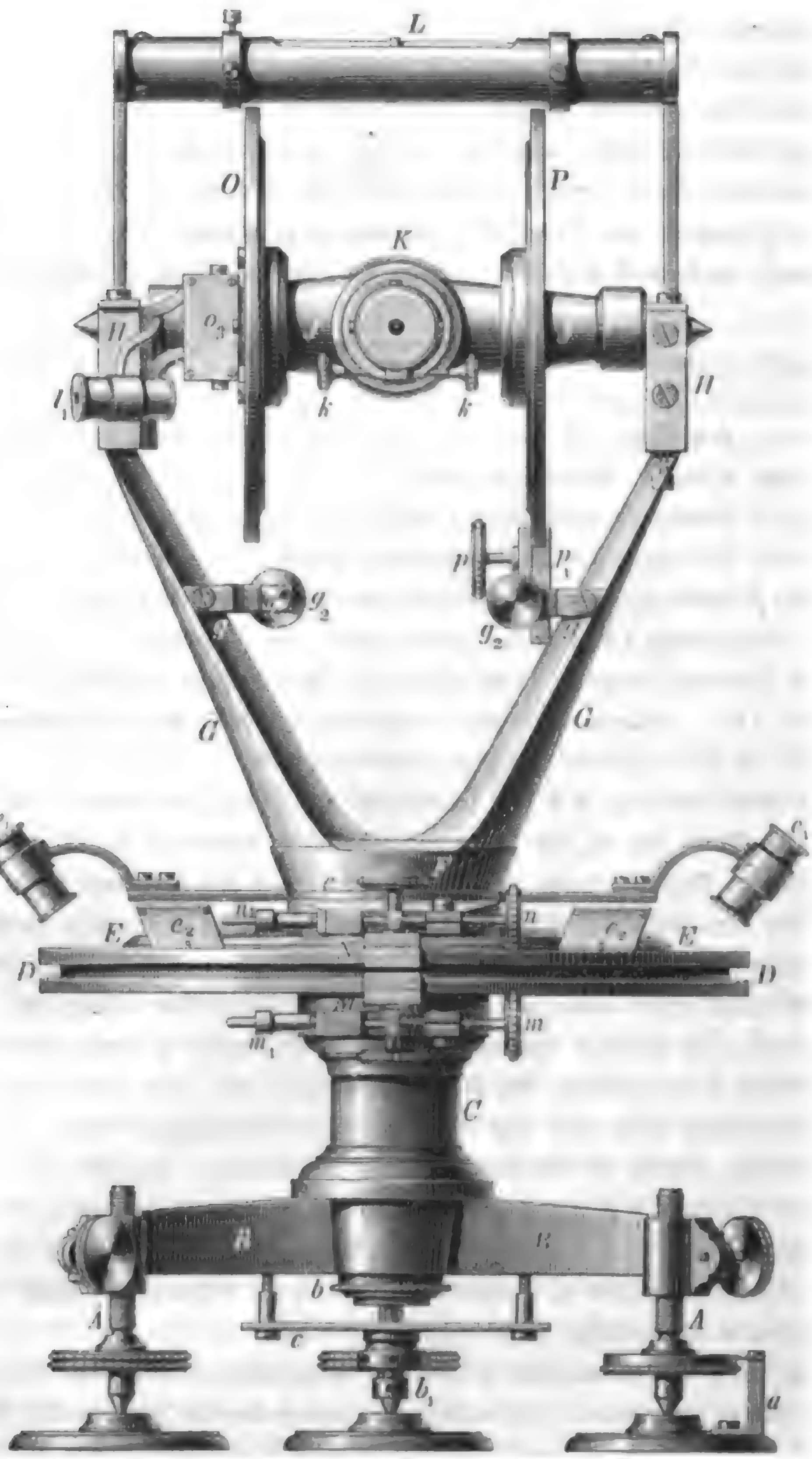
Der in den Figg. 111. und 112. im Drittel der natürlichen Gröfse dargestellte, vom hiesigen Mechaniker Pfaff construierte Repetitionstheodolith unterscheidet sich dadurch wesentlich von dem des vorigen Paragraphen, dafs die mikroskopische Ablesung der Limbustheilung durch vier Verniere vertreten wird, dafs an der Rotationsachse des Fernrohrs zwei Kreise befestigt sind, von denen der eine eine Eintheilung enthält, der andere aber zur Aequilibrierung des ersteren dient und dafs das Fernrohr nicht allein in seinen Lagern umgelegt, wie das der Figg. 108—110., sondern auch mit seinem Objectivende durchgeschlagen werden kann. Er ist also zugleich Compensationstheodolith.

Die Stellschrauben AA des Dreifufses BB ruhen auf Unterlegscheiben, die auf die Oberfläche des in der Mitte ausgebohrten hölzernen Kopfes des Stativs gelegt werden. Dadurch kann man den Apparat mit den Scheiben leicht auf dem Stativkopfe verschieben und einlothen. Nur der Kopf der einen Stellschraube ist mit einer Eintheilung versehen und, da die Köpfe unter den Muttern liegen, die Einrichtung a des Index auf der einen Unterlegscheibe angebracht.

Die mit dem Dreifufs verbundene Büchse C nimmt in ihrer Durchbohrung das zweifache Achsensystem des Horizontalkreises auf. Die durchbohrte Achse des Limbuskreises DD ruht auf einer kugelcalotteförmigen Feder, die in der Mutter b liegt, welche die Kreisachse gegen den Dreifufs festhält; die stählerne Achse der Alhidade EE dagegen wird von einer Schraube b_1 getragen, welche durch den Fortsatz der an dem Dreifufse befestigten dreiarmigen Feder c geht und von der Gegenmutter c_1 festgehalten. Durch die Schraube b_1 kann daher der Alhidade leicht die richtige Höhe gegeben werden.

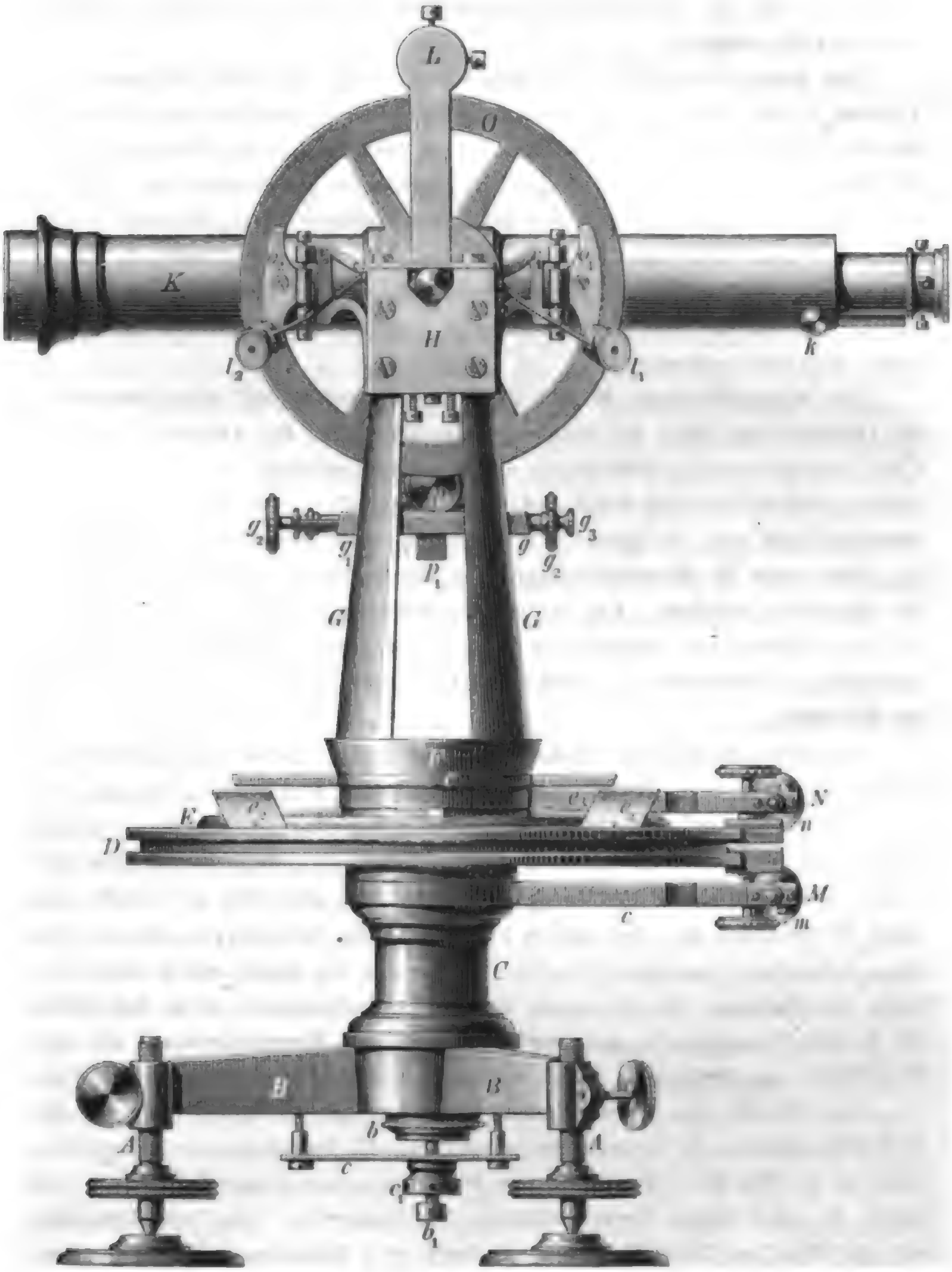
Wie beim astronomischen Theodolith trägt ein cylindrischer Fortsatz der Alhidade die Grundplatte F der schief aufwärts gehenden Stützen GG der Fernrohrachse, deren obere senkrecht gestellte parallelepipedische Theile HH die Achsenlager für die Zapfen der Rotationsachse JJ des Fernrohrs K enthalten. Das eine der Lager, nämlich dasjenige, an welchem die Rahmen der Verniers sich nicht befinden, ist auf die mehrfach erwähnte Weise durch Stell- und Zugschrauben verstellbar.

Fig. 111.



An jedem der gabelförmigen Theile der beiden Stützen ist durch Schrauben ein Seitenstück $g g_1 g g_1$ befestigt, von welchen das eine die Mikrometerschraube g_2, das andere das Gehäuse der Spiralfeder enthält (vgl. Fig. 79.), welche durch

Fig. 112.



den vortretenden Knopf g_3 beim Umlegen der Fernrohrachse in ihren Lagern zusammengezogen werden kann, um dem Hemmungsarme den nöthigen Spielraum zu verschaffen.

Die oberen Flächen der Lager sind mit dünnen Deckplatten versehen, deren Einschnitte die auf die Zapfen der Rotationsachse gesetzte Libelle L vor dem Herunterfallen sichern.

Der äufsere Durchmefser des Limbuskreises hat $8^3/_4$ Zoll, der innere der Theilung 8 Zoll. Er ist unmittelbar in Sechstelgrade getheilt und mit 4 Verniers versehen, welche 10 Sekunden angeben. Vom Mittelpunkte aus betrachtet, geht die Theilung von Links nach Rechts mit wachsender Bezifferung fort. Der um einen Ansatz der Alhidade sich bewegende Loupenring e führt, diametral gegenüber, zwei Arme mit Loupen $e_1 e_1$ (welche in Fig. 112. weggelafsen sind); die Blendrahmen $e_2 e_2$ sind auf der Alhidade mittelst Schräubchen befestigt. Die Ränder des Kreises und der Alhidade sind mit dem cylindrischen Mittelstück durch acht starke Speichen verbunden.

Die Mikrometerwerke M und N für die Hemmung und feine Einstellung des Limbuskreises gegen die Büchse des Dreifufses und der Alhidade gegen den Kreis bestehen aus der Halterplatte mit der Klemmschraube und der in einem Gehäuse befindlichen Spiralfeder (vgl. Figg. 74. und 79.). Für das erstere Mikrometerwerk geht von der Büchse C ein Arm c mit zwei gabelförmigen Fortsätzen aus, deren einer die Mikrometerschraube m, der andere den Stift mit dem Knopfe der Spiralfeder aufnimmt. Für das letztere Mikrometerwerk ist mit dem cylindrischen Ansatze der Alhidade ein Arm e_3 mit zwei gabelförmigen Fortsätzen verbunden; n bezeichnet die zugehörige Mikrometerschraube, n_1 die Büchse für die Spiralfeder.

An zwei Flanschen der Umdrehungsachse des Fernrohrs sind innerhalb der Stützen derselben zwei Kreise O und P von $5^1/_2$ Zoll Durchmefser befestigt, von denen der erstere auf einem silbernen Limbus unmittelbar in Drittelgrade getheilt ist, der andere P aber, wie schon erwähnt, zur Aequilibrierung dient. Zwei fliegende Verniere $o_1 o_2$ mit Blenden o_3, die in Fig. 112. aber nicht dargestellt sind, geben 20 Sekunden an. Sie sind an ausgeschweiften Rahmen $r_1 r_2$, die von dem einen Achsenlager ausgehen, befestigt. Die Loupen $l_1 l_2$ dienen zum genauen Ablesen der Theilung. Die Hemmung für die Verticalbewegung ist an dem Rande des Kreises P angebracht und geschieht durch eine Klemmschraube p mit der Halterplatte p_1, deren nach Unten verlängerter Arm den Hemmungsarm bildet.

Das Objectiv des achromatischen Fernrohrs hat 15 Linien Oeffnung mit 12 Zoll Brennweite; die Vergröfserung desselben = 25. Das Ocular ist ein Huyghenssches (§. 46. Fig. 26.). Das Fadennetz besteht aus zwei senkrechten Fäden und einem sie schneidenden Horizontalfaden. Die Ocularröhre wird beim Einstellen auf ein Object aus freier Hand bewegt; durch zwei Stellschrauben kk kann dem Fadenkreuz die richtige Stellung gegeben werden. Beim Durchschlagen des Fernrohrs wird das Objectivende durch den unteren hohlen Raum der Stützen bewegt. Die Aufsetzlibelle L giebt für einen Libellentheil einen Ausschlag von 5 Sekunden.

Die Unterlage des Theodoliths bildet ein solides Stativ, dessen hinreichend grofser Kopf von Holz eine zum bequemeren Einlothen nöthige Verschiebung des Apparats auf seinen Unterlegscheiben um mehrere Zolle gestattet.

Zum Transport dient ein Kasten, der den Apparat nach abgenommener Libelle bequem aufnimmt, während die letztere in besonderen Lagern sicher befestigt wird.

B. Der einfache Theodolith.

§. 247.

Nach dem im §. 114. gegebenen Begriffe unterscheidet sich der einfache Theodolith von dem unter *A* beschriebenen Repetitionstheodolith nur allein durch das einfache Achsensystem (§§. 81—83.) des Horizontalkreises. Der Limbuskreis ist dann an einer Flansche der Büchse des Dreifufses mittelst Schrauben verbunden, während die Alhidade an einer Flansche der stählernen Verticalachse befestigt ist. Durch diese Einrichtung wird zwar dem Werkzeuge mehr Einfachheit und eine gröfsere Festigkeit verliehen, allein es kann die wiederholte einfache Mefsung eines Horizontalwinkels dann nur durch Drehung des Dreifufses über dem als Scheitelpunkt des Winkels gegebenen Punkte geschehen, erfordert also immer eine neue Einlothung. Die Winkelbestimmung nach der Repetitionsmethode ist dagegen gar nicht auszuführen.

1. Der grofse Theodolith vom Wiener polytechnischen Institut.

In Fig. 113. ist in der Seitenansicht ein in der mechanischen Werkstätte des polytechnischen Instituts zu Wien verfertigter Theodolith im Drittel der natürlichen Gröfse dargestellt. Mit Ausnahme des Fernrohrs und des Verticalkreises enthält davon Fig 53. die vordere Ansicht und zum Theil einen Verticaldurchschnitt. *AA* bezeichnet den Horizontalkreis von 13 Zoll Durchmefser, dessen silberner Limbus von 12 Zoll innerem Theilungsdurchmefser unmittelbar von 5 zu 5 Minuten getheilt ist. Sein Rand ist mit dem konischen Mittelstück durch acht Speichen verbunden und bildet mit der durchbohrten Büchse *B* des Dreifufses *CC* ein Ganzes. Der Alhidadenkreis *DD*, dessen Rand ebenfalls durch acht Speichen mit dem konischen Mittelstück verbunden ist, ruht mit dem stählernen Centralzapfen auf einer dreiarmigen Feder *d*, die in den Armen des Dreifufses mittelst Schrauben befestigt ist und daher durch letztere eine Verstellung gegen den Limbuskreis gestattet. Durch die Mutter *c* wird der Centralzapfen gegen den Dreifufs gehalten. Die Alhidade enthält vier Verniers, welche 4 Sekunden angeben. Die Ablesung derselben geschieht durch zwei Loupen *dd*, deren Arme an einem Ringe sich um einen Ansatz der Alhidade beliebig drehen lafsen; $d_1 d_1$ bezeichnen Blendrahmen, die auf der Alhidade hinter den Verniers befestigt sind. Zur Hemmung der groben Bewegung der Alhidade und zur feinen Einstellung

Fig. 113.



derselben dient ein Mikrometerwerk mit der Halterplatte und der Klemmschraube δ; die Klemme für die Mutter der Mikrometerschraube δ_1 ist an einem kleinen Arme angebracht, der auf der Alhidade befestigt ist. Wie Fig. 53. zeigt, sind an zwei diametral gegenüber liegenden Stellen, auf der Alhidade die Grundplatten *E* (Fig. 113.) für die Stützen *FF* der Umdrehungsachse des Fernrohrs festgeschraubt. Der obere Theil jeder Stütze trägt das Lager *G* für die Zapfen des Fernrohrs und ist mittelst zweier Schrauben *gg* auf den ersteren befestigt. Das Lager, woran die Rahmen der Verniers nicht befestigt sind, ist durch zwei Stellschrauben $g_1 g_1$ verstellbar. Um die Lage dieser Schrauben in der Zeichnung zu erkennen, ist das entgegengesetzt liegende Lager als verstellbar dargestellt.

An einer Flansche des mit dem Ocularende durchzuschlagenden Fernrohrs *H*, weshalb der vorliegende Apparat ein Compensationstheodolith ist, ist der Verticalkreis *J* befestigt, während die an dem einen Lager befestigten Platten *KK* an ihren Enden die Rahmen für die Verniers *vv* und die Blendungen *kk* tragen. Die an den Platten drehbaren Arme tragen die Loupen $k_1 k_1$ zum Ablesen der Theilung. Durch die federnde Eigenschaft der Vernierplatten legen sich zwar die Verniers innig auf den Kreisrand; allein durch die Umdrehung des Kreises mit dem Fernrohr wird der silberne Limbus des Kreises durch die an den Verniers eintretende starke Reibung leicht verletzt, weshalb diese Einrichtung nicht zu empfehlen ist. Insbesondere zeigt sich dieselbe lästig beim Umlegen des Fernrohrs in seinen Achsenlagern. Der Theilungsdurchmefser des Verticalkreises beträgt 8 Zoll, sein silberner Limbus ist unmittelbar in Sechstelgrade getheilt, während die Verniers 10 Sekunden angeben.

Die Hemmungsvorrichtung der groben Bewegung des Fernrohrs ist ein geschlofsener Ring mit einer Druckschraube und einer Bremsplatte, an dem entgegengesetzten Ende der Rotationsachse angebracht. Zur mikrometrischen Bewegung dient der Arm *h*, an welchem die Klemme für die Mutter der Mikrometerschraube h_1 befestigt ist, deren Kugelklemme aber an dem einen Stützenarme angebracht ist.

Zum Einstellen der Verticalachse dient die Röhrenlibelle *L*, welche mit ihren Füfsen auf die Zapfen der Rotationsachse durch die Speichen des Verticalkreises gestellt wird, also nach der Einstellung immer abgenommen werden mufs.

Es ist schon im §. 81. erwähnt, dafs um die Last, welche der Obertheil des Apparats auf die Unterlage ausübt, auf die Verticalachse zu verlegen, das hervortretende Ende der letzteren von einer starken Feder φ umspannt wird, deren Enden unter die Schraubenköpfe zweier Schrauben treten, welche in den Grundplatten *E* befestigt sind, worüber Fig. 53. zu vergleichen ist.

Der Transport des Instruments geschieht in zwei Kasten, von welchen der eine seinen Obertheil, der andere den Horizontalkreis nebst Dreifufs und die Libelle aufnimmt.

2. Der kleine Theodolith von Meyerstein.

§. 248.

Ein nur zur Aufnahme des Details dienender, von Meyerstein in Göttingen verfertigter Theodolith ist in den Figg. 114. und 115. in Dreiviertel der natürlichen Gröfse dargestellt, von welchen Fig. 114. die vordere Ansicht, den unteren Theil

Fig. 114.

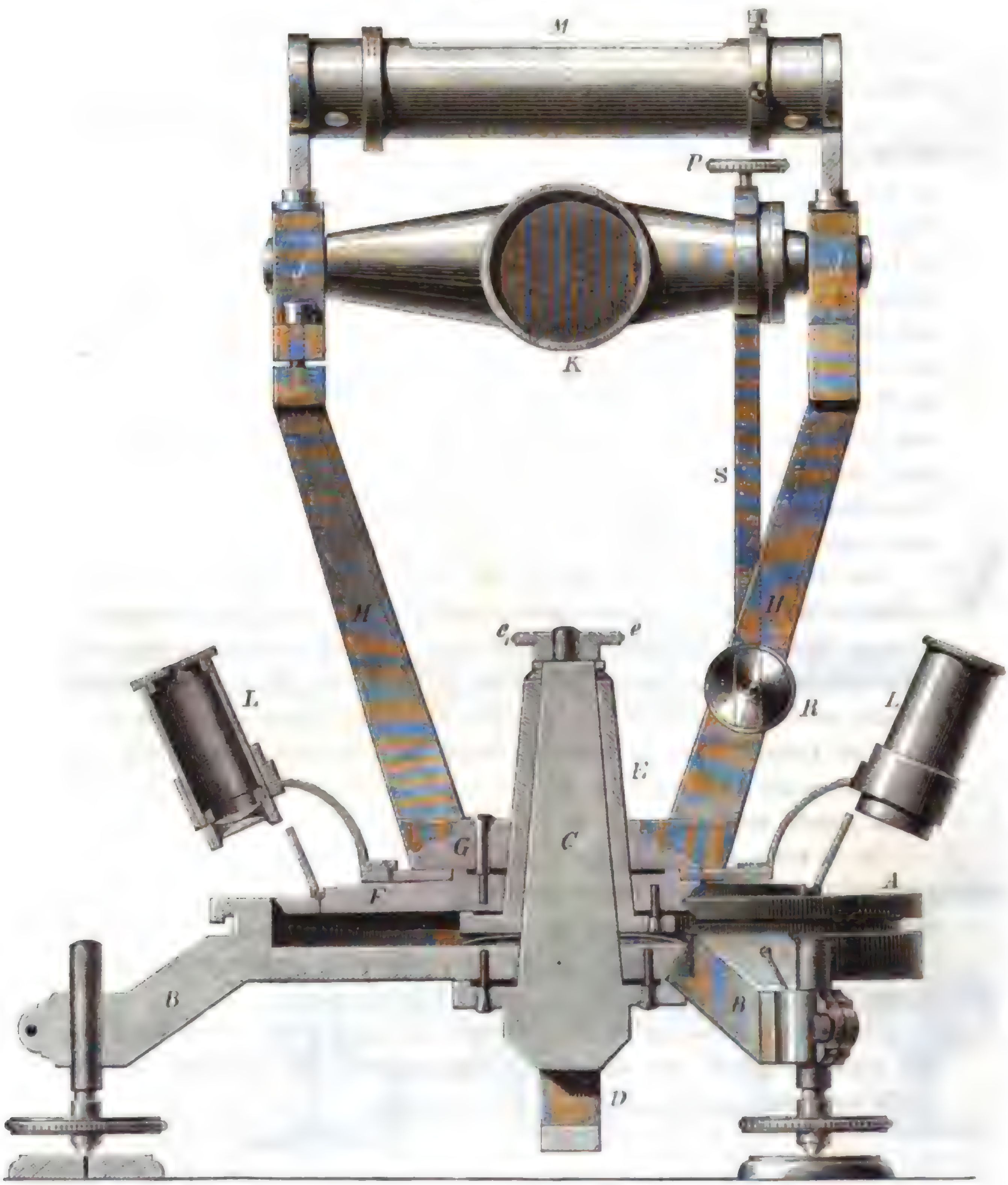
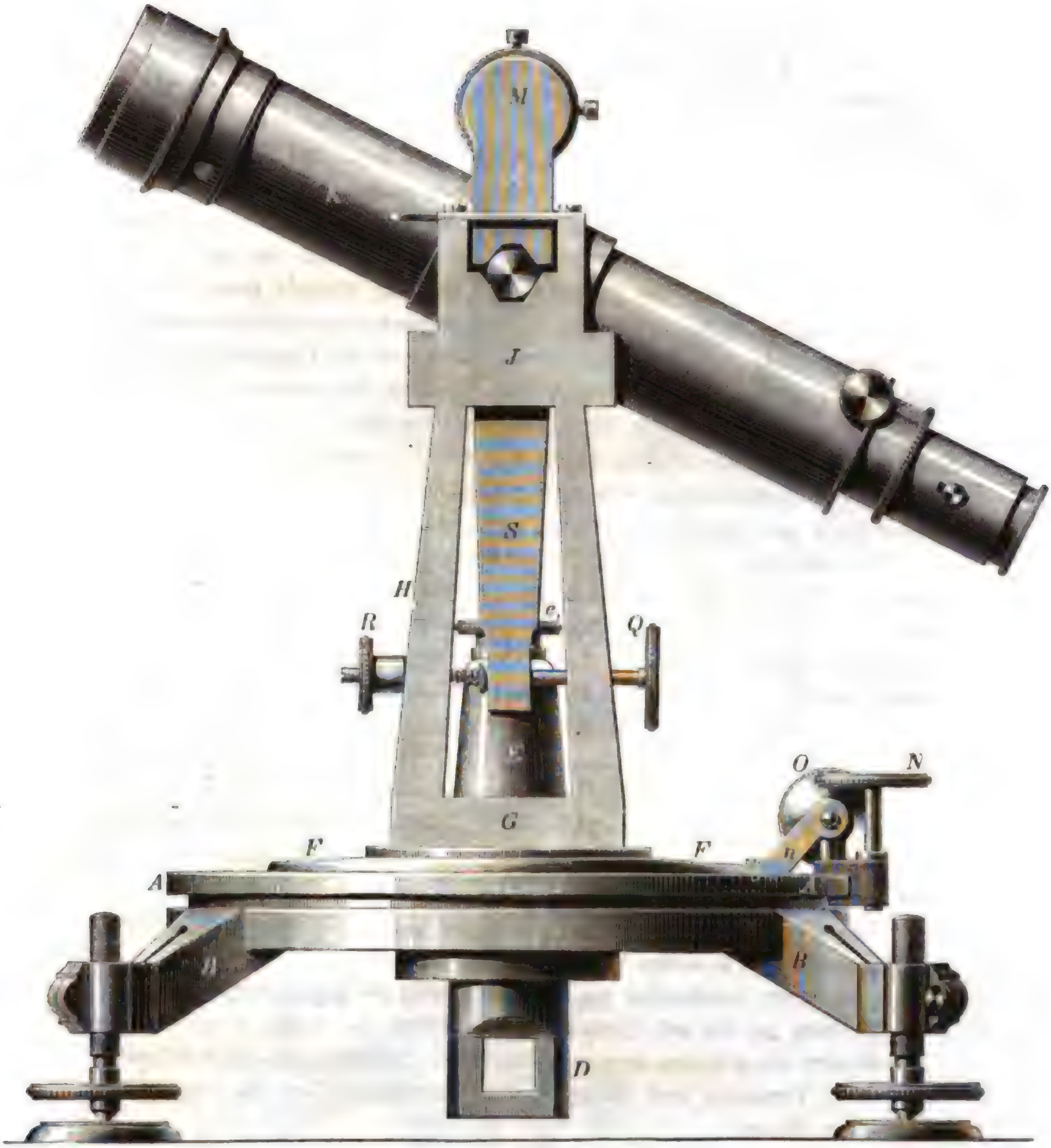


Fig. 115.



theilweise im Durchschnitt, Fig. 115. die Seitenansicht mit weggelaſsenen Loupen angiebt.

Der scheibenförmige, Innen ausgedrehte und in der Mitte ausgebohrte Limbuskreis $A\,A$ bildet mit den drei Armen des Dreifuſses $B\,B$ ein Ganzes. Die Durchboh-

rung des Kreises nimmt die konische Verticalachse C (Fig. 114.) auf, deren Flansche an seiner Unterfläche mittelst versenkter Schrauben befestigt ist, nach Unten aber in die Oese D ausläuft, welche zur Befestigung des Apparats auf dem Stativ dient.

Den Verticalzapfen umfaſst die Büchse E, an deren Flansche e durch Schrauben die scheibenförmige Alhidade FF befestigt ist. Die Flansche ruht auf einer kugelcalotteförmig gebogenen Feder, welche den Zapfen C umgiebt und mit ihrer Grundebene auf der Innenfläche des Kreises liegt. Mit der Alhidade ist wieder die Fuſsplatte G der rahmenförmig ausgeschnittenen Stützen HH verbunden, deren obere Theile die Lager JJ für die Zapfen des Fernrohrs K bilden. Das eine der Lager ist verstellbar und mit den nöthigen Stell- und Zugschrauben $i\,i_1$ (Fig. 114.) versehen. Die Horizontalbewegung der Alhidade kann durch die Mutter e_1, welche auf dem Gewinde des Verticalachsenendes sich befindet, und durch eine unterliegende Feder moderiert werden. Unterhalb der Fuſsplatte G befindet sich ein cylindrischer Ansatz, um welchen sich der Ring für die Loupen LL dreht, welche letztere aber in Fig. 115. weggelaſsen sind.

Die Horizontalstellung des Theodoliths geschieht durch die mit den erforderlichen Correctionsschrauben versehene Röhrenlibelle M, die vor dem Herunterfallen durch zwei auf den Lagerplatten befestigte, drehbare Deckel gesichert ist.

Zur Hemmung der groben Horizontalbewegung und zur mikrometrischen Bewegung der Alhidade dient das in Fig. 115. sichtbare Federmikrometer mit der Halterplatte, das nach der in Fig. 74. dargestellten Art eingerichtet ist, von welchem N die Klemmschraube, O die Mikrometerschraube bezeichnet und dessen schief aufsteigende Arme n auf der Alhidade befestigt sind. Zur Hemmung der groben Verticalbewegung dient ein um die Rotationsachse des Fernrohrs sich legender Ring mit der Bremsplatte und der Preſsschraube P; zur feinen Einstellung des Fernrohrs die Mikrometerschraube Q und die ihr gegenüber liegende Mutter R mit der zugehörigen Spiralfeder, zwischen welche der Hemmungsarm S sich legt. Durch diese Einrichtung wird sowohl das Durchschlagen, als auch die Umlegung des Fernrohrs in seinen Lagern sehr bequem gemacht.

Das Fernrohr mit Huyghen'schem Ocular hat 6 Zoll Brennweite, 9 Linien Oeffnung und eine 20malige Vergröſserung.

Der innere Durchmeſser des silbernen Limbus des Kreises beträgt vier Zoll; die Theilung ist bis auf Viertelgrade ausgeführt, die beiden Verniers geben 20 Sekunden an, gestatten aber noch eine sichere Schätzung bis auf 10 Sekunden.

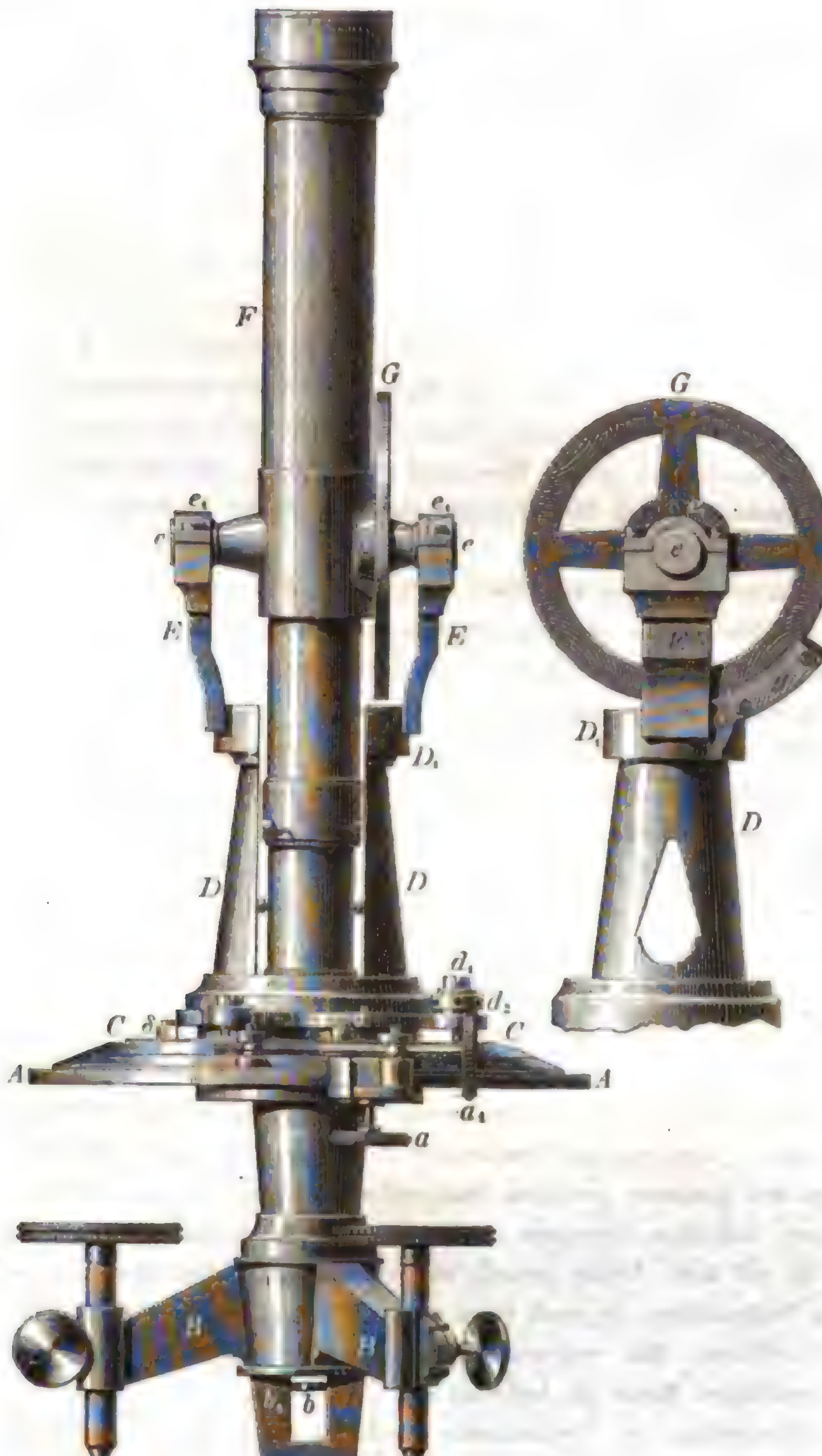
Zum Verpacken und Transport des Instruments dient ein bequem eingerichteter Kasten.

3. Der kleine Theodolith von Frerk sen.

§. 249.

Der in Fig. 116. in halber natürlicher Gröſse dargestellte, von Frerk sen. in Celle verfertigte Compensationstheodolith dient ebenfalls nur zur Aufnahme des

Fig. 116.



Details. Die bei demselben gewählte Construction wurde, so viel mir bekannt, zuerst von Breithaupt in Cassel eingeführt, gestattet zwar das Durchschlagen des Fernrohrs, aber nicht das Umlegen seiner Achse in ihren Lagern. Der

innere Durchmeſser des silbernen Limbus beträgt 4 Zoll; die Theilung ist bis auf halbe Grade ausgeführt; die beiden Verniers geben 1 Minute an, gestatten aber noch eine sichere Schätzung von 20 zu 20 Sekunden. Der Limbus und die Verniers liegen auf einer flach geneigten konischen Fläche, wodurch die mit einer Handloupe ausgeführte Ablesung bequemer gemacht wird.

Der scheibenförmige Limbuskreis AA bildet, wie der Apparat der Fig. 113., mit dem Dreifuſse BB ein Ganzes; die an einer Flansche der Verticalachse befestigte scheibenförmige Alhidade dreht sich in den Durchbohrungen der Büchse und des Dreifuſses; das untere spitze Ende der Achse ruht auf einer Brücke b, die an der Oese b_1 mittelst Schrauben befestigt ist; durch letztere wird der Theodolith mit dem Stativ verbunden. Durch eine Mutter, die in der Ausbohrung des unteren Endes des Dreifuſses sich befindet, wird die Achse gegen den Dreifuſs gehalten.

Die Hemmung der groben Bewegung der Alhidade und die feine Einstellung derselben geschieht durch die Klemmschraube a mit der Halterplatte und durch die Mikrometerschraube a_1.

Die Stütze des Fernrohrs bildet ein hohler und zum Durchschlagen deſselben zugleich durchbrochener abgestumpfter Kegel DD, dessen oberes Ende einen stärkeren, ebenfalls durchbrochenen Cylinder D_1 trägt, mit welchem gabelförmig zwei Seitenstücke EE verbunden sind, welche die Lager für die Zapfen ee der Rotationsachse enthalten. Durch die aufgesetzten Kappen e_1 e_1 wird zwar das Umlegen der Rotationsachse verhindert, auf der anderen Seite aber dem Fernrohre eine sichere Verticalbewegung ertheilt und die Federung der Stützen beseitigt. Der in drei Arme sich erweiternde Fuſs der Säule DD ruht auf drei Lagerpunkten, von welchen zwei durch eine auf der Alhidade liegende Scheibe d gebildet werden, auf welchen die Arme des Fuſses durch Schrauben befestigt sind, während der dritte durch eine mit einer Correctionsmutter d_2 versehene und auf die Alhidade tretende Stellschraube d_1 gebildet wird.

Das Fernrohr F mit Huyghens'schem Ocular von 8 Zoll Brennweite, 10 Linien Oeffnung und 20maliger Vergröſserung trägt an einer Flansche einen kleinen Verticalkreis G, der nur zur Bestimmung der Elevations- und Depressionswinkel der gegen den Horizont geneigten Stationslinien dienen soll, um die Horizontalprojectionen derselben berechnen zu können. Er ist deshalb in seinen vier Quadranten bis auf halbe Grade getheilt und von seinen beiden diametral gegenüber liegenden Nullpunkten aus nach Oben und Unten mit wachsender Bezifferung bis zu 90° bezeichnet. Zur weiteren Eintheilung dient ein Vernier g, dessen Arm an dem erwähnten Ringe D_1 befestigt ist.

Die Einstellung der Verticalachse geschieht durch eine Dosenlibelle, die an drei Armen $\delta\delta$ auf der Oberfläche der Alhidade im Inneren des Säulenfuſses mittelst Schrauben befestigt ist.

Zum Verpacken und Transport des Apparats dient ein bequem eingerichteter Kasten.

C. Der Markscheider- oder Grubentheodolith.

§. 250.

Erst wenige Decennien sind verstrichen, seit der Theodolith bei der Horizontal-Winkelmefsung der markscheiderischen Aufnahmen dem bis dahin fast nur ausschliefslich gebrauchten Hänge-Compass (§. 319.) an die Seite gestellt ist, so wie auch nur die später beschriebene Markscheiderwage oder der Gradbogen zur Mefsung der Verticalwinkel und daher auch selbst dann zu Nivellements angewandt wurde, wo man sich viel zweckmäfsiger eines Libellenniveau's hätte bedienen können. Die gänzliche Nichtberücksichtigung dieser befseren geometrischen Instrumente bei den geometrischen Arbeiten des Bergbaus findet aber nur allein darin eine Entschuldigung, dafs die Salarierung der genannten Mefsungen in fast allen deutschen Staaten fast nur allein von der Anzahl der Stationen oder der Theile der s. g. Markscheiderzüge abhängig gemacht wurde, woraus, wie leicht erklärlich, selbst bei solchen Markscheidern, die von der Zweckmäfsigkeit der Benutzung des Theodoliths bei manchen ihrer Arbeiten durchdrungen waren, eine Verpflichtung für ihre Existenz sehr nahe lag, den Compass selbst auch da anzuwenden, wo Mefsungen mit dem Theodolith günstigere Resultate geliefert haben würden. Man darf hierüber aber um so weniger sich wundern, als auch jetzt noch fast überall bei den gröfseren ökonomischen Mefsungen, u. a. bei der Aufnahme der Feldmarken, wobei es ja bekanntlich sehr auf das Mein und Dein ankommt, nur allein die Mefskette als Mefsapparat dient, während doch Jeder, der mit den Leistungen des Theodoliths vertraut ist, anerkennen mufs, dafs das Resultat eine viel gröfsere Genauigkeit besitzen würde, wenn man der Detailaufnahme mit der Mefskette ein mit dem Theodolith aufgenommenes Dreiecksnetz zum Grunde legte.

Gleichwohl soll durch diese Bemerkungen nicht gesagt sein, als müfse der Hänge-Compass durch den Grubentheodolith, und die Markscheiderwage durch ein anderes Niveau ganz verdrängt werden. Denn schwerlich möchte der Markscheider auf manchen First- und Strossenbauen, in den kleinen Förder- und Sturzschächten (Rollen) u. s. w. des Gang- und Lagerbergbaues, oder auf dem Strebenbergbau sich des Theodoliths immer mit Vortheil bedienen können; im Gegentheile können Mefsungen in solchen unterirdischen Räumlichkeiten oft nur allein, oder doch eben so zweckmäfsig durch den Hänge-Compass und den Gradbogen ausgeführt werden. Dagegen müfsen bei gröfseren Arbeiten, wo es irgend die Oertlichkeit gestattet, und insbesondere bei den Aufnahmen über Tage, letztere Werkzeuge durch die erwähnten befseren geometrischen Apparate ersetzt werden.

§. 251.

In fast allen Fällen wird aber bei der Anwendung des Theodoliths erfordert, theils zur Orientierung der zu entwerfenden Karte, theils und vorzugsweise

zum Anschlufs der Mefsung an eine mit dem Hänge-Compass ausgeführte Mefsung und zur Verbindung einer durch die Oertlichkeiten gebotenen Aufnahme mittelst des Hänge-Compasses, dafs man die magnetische Abweichung der einen oder der anderen der Stationslinien kenne. Zur Abnahme dieser Abweichung wird daher mit dem Theodolith eine leichte, bequeme Verbindung und Trennung eines Compasses erfordert, wodurch sich also der Grubentheodolith schon von dem gewöhnlichen Theodolith unterscheidet. Selbstverständlich müfsen daher auch alle Theile desselben aus eisen- und nickelfreien Metallen, also aus reinem Messing oder Rothgufs gearbeitet sein. Da aber in der Anwendung des Grubentheodoliths bei den unterirdischen Mefsungen ebensowohl Horizontalwinkel zwischen Punkten, die auf Strecken oder Stollen, in Querschlägen u. s. w. liegen, als auch zwischen Punkten, die in Schächten, oder Absinken u. s. w. und auf den erwähnten Oertern gegeben sind, mit gleicher Bequemlichkeit müfsen bestimmt werden können: so mufs das Fernrohr nicht in der Mitte der Rotationsachse, sondern an dem einen Ende derselben angebracht sein und das gewöhnliche Huyghen'sche (oder Ramsden'sche) Ocular noch mit einem prismatischen Ocular leicht vertauscht, oder mit einem prismatischen Ansatz f_1 und f_2 in Fig. 102. verbunden werden können.

Der in den meisten Grubengebäuden vorkommenden salzigen, alkalischen und sauren Wafser wegen ist aber wenigstens die Theilung des Horizontalkreises nicht auf dem versilberten Messingrande, sondern auf einem eingelegten silbernen Limbus auszuführen, da in dem ersteren Falle, der öfteren Reinigung wegen, die Versilberung sehr bald vernichtet werden würde. Aus demselben Grunde darf die Ocularröhre nicht aus freier Hand verschoben werden, sondern mufs mit einem Getriebe und einer Zahnstange verbunden sein.

Da es bei dem genauen Ablesen der Theilung besonders auf eine gute Beleuchtung derselben ankommt, diese aber mittelst des gebräuchlichen Markscheidelichts nur unbequem sicher zu vermitteln ist, so ist es schon aus diesem Grunde, aber auch zur Erzielung gröfserer Genauigkeit, zweckmäfsig, wenn die Ablesung der Theilung des Horizontalkreises nicht an Vernieren, sondern an Schraubenmikroskopen ausgeführt wird.

Auch verlangt die Signalisierung der Winkelpunkte, deren Einrichtung weiter unten (§. 291. und 292.) näher beschrieben wird, dafs der eigentliche Winkelmefser auf eine leichte, bequeme Weise von dem Dreifufse entfernt und auf den des folgenden Winkelpunktes gestellt und befestigt werden kann.

Des in den Grubengebäuden unbequemen und lästigen Transports des Mefsapparats wegen mufs sowohl das Stativ, als auch der Mefsapparat selbst, ohne an der erforderlichen Stabilität etwas aufzugeben, möglichst leicht bearbeitet sein und ebenso auch bequem und zweckmäfsig verpackt werden können.

§. 252.

1. Der Grubentheodolith von Frerk und Sohn.

Nach den Principien der vorigen Paragraphen ist der in der Fig. 117. in halber natürlicher Gröfse dargestellte, von Frerk und Sohn verfertigte Grubentheodolith ausgeführt, über dessen Einrichtung daher nur noch Weniges bemerkt zu werden braucht.

Die mit dem Dreifufs *AA* verbundene Büchse *B* nimmt das zweifache Achsensystem für den Limbuskreis *CC* und die Grundplatte *DD* des Mikroskopenträgers auf. Der um die Büchse gelegte geschlofsene Ring *E*, nebst der Prefsschraube *e* und einer Bremsplatte, dient zur Hemmung der groben Bewegung; zugleich wird dadurch die Möglichkeit gegeben, den Index der Schraubenmikroskope gegen die Limbustheilung verstellen, also den zu mefsenden Horizontalwinkel von verschiedenen Punkten des Limbus aus mefsen zu können, ohne den Dreifufs erst verstellen zu müfsen. An den Enden der Grundplatte erheben sich die Stützen *FF* für die Drehachse *GG* des an ihrem einen Ende befestigten Fernrohrs *H*. Die eine Stütze, hier die rechts liegende, enthält die nöthigen Correctionsschrauben, von denen nur die Stellschraube *f* und die eine der Zugschrauben f_1 gesehen wird. Das andere Ende der Horizontalrotationsachse trägt den Verticalkreis *JJ* zur Bestimmung der Elevations- und Depressionswinkel der Stationslinien, enthält daher eine dazu erforderliche Bezeichnung der Theilung. Die Rahmen der beiden, zwischen Schraubenspitzen befestigten Verniers sind an der hier links liegenden Stütze angebracht; durch die Platte *i* ist der eine derselben befestigt.

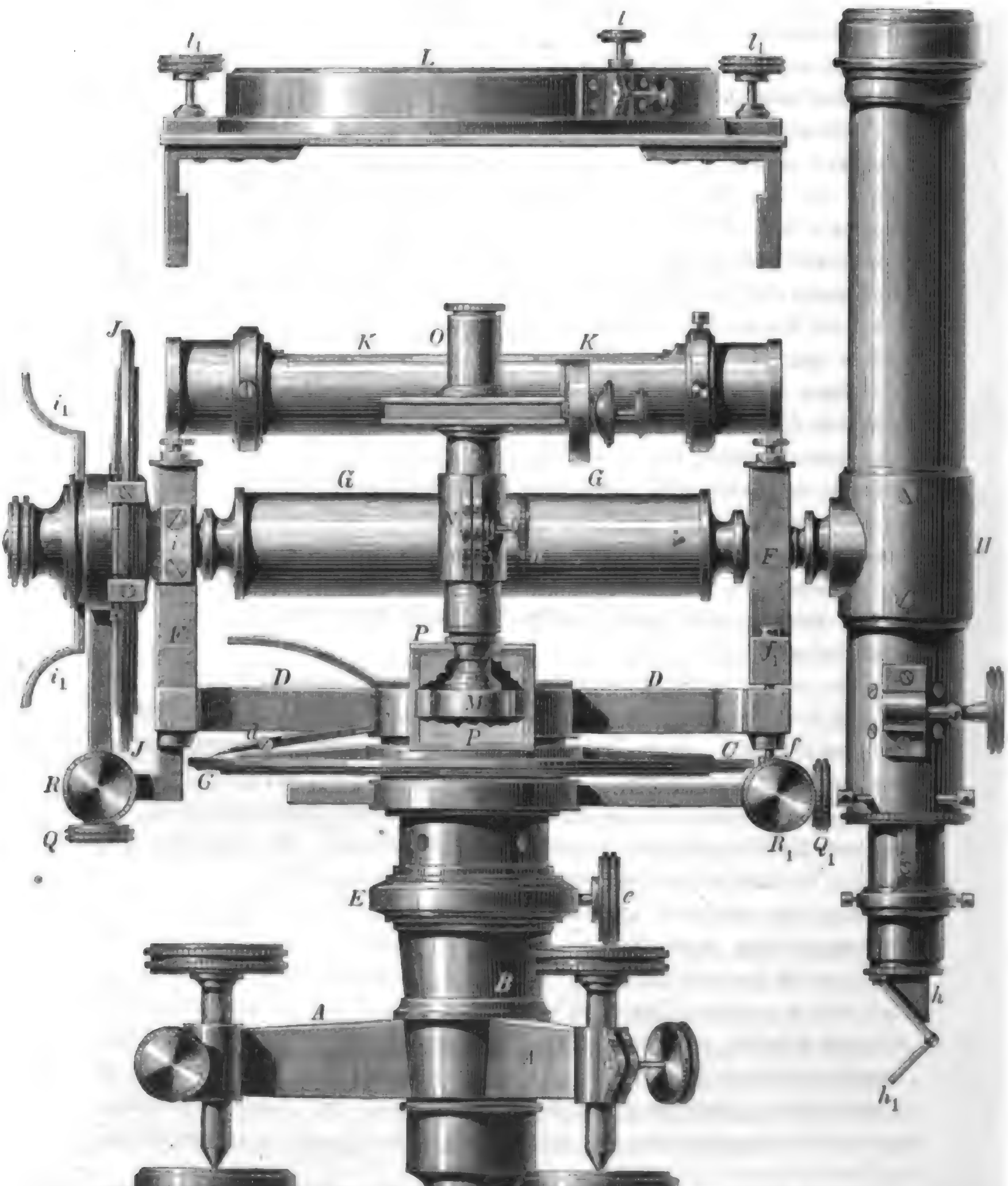
Der zugehörige Blendrahmen ist in der Zeichnung nicht dargestellt, so wie von dem Loupenhalter auch nur ein Theil i_1 i_1 angegeben ist. *K* bezeichnet die mit einem Handgriff — in der Zeichnung weggelafsen — versehene Röhrenlibelle zur Einstellung der Verticalachse. An ihre Stelle kann der Compass *) *L* gesetzt werden, wenn die Orientierung der einen Stationsrichtung beabsichtigt wird. An ihm dient die Schraube *l* zur Arretierung der Magnetnadel; die Schrauben l_1 l_1 aber zur Befestigung des Compassgehäuses auf der Zulegeplatte.

Von dem mittleren, cylindrischen Theil der Grundplatte *DD* gehen nach entgegengesetzten, in der Zeichnung in, zur Papierfläche normalen Richtungen, zwei Arme *M* aus, von denen jeder eine Säule, in der Zeichnung nur der untere Theil derselben sichtbar, trägt, an welcher die Hülse *N* für das Schraubenmikroskop sich befindet; aufserdem ist an jedem Arme die zur gehörigen Beleuchtung erforderliche Blende *PP* befestigt, welche aber zum Sichtbarmachen des Armes *M* als zum Theil abgebrochen in der Zeichnung dargestellt ist. Ueber die Construction des Schraubenmikroskops ist §. 65., so wie Figg. 43. und 44. zu vergleichen.

---

*) Vom Mittellatein. compassus, Mitschritt, gleicher Schritt und daher Mafs und ein Werkzeug zum Mefsen. Eine vollständige Beschreibung der Einrichtung des Compasses wird erst später gegeben werden.

Fig. 117.



Da aber das Schraubenmikroskop eine stählerne Mikrometerschraube fordert, so ist bei Beobachtungen der Magnetnadel die Hülse N mit einer, einen geränderten Kopf enthaltenden Klemmschraube n versehen, mittelst welcher dann, während der Beobachtung der Magnetnadel, das Mikroskop leicht aus seiner Hülse geschoben und eben so leicht auch wieder in derselben befestigt werden kann. Zur Ablesung der Grade und Gradtheile dient ein zwischen Schraubenspitzen befestigter Vernier d, dessen Arm an dem Mittelstück der Grundplatte DD befestigt ist.

Die Hemmung der groben und die mikrometrische Bewegung und Einstellung des Fernrohrs auf ein Richtobject wird bei beiden Kreisen durch die Klemmschrauben Q Q_1 und die Mikrometerschrauben R R_1 erreicht.

Zur bequemen Einstellung des Fernrohrs auf Objecte, die mit dem Standorte nur eine kleine Zenithdistanz bilden, dient das in die Ocularröhre zu schraubende Prisma h, welches zu Meridianbestimmungen mittelst correspondierender Sonnenhöhen noch mit einem Sonnenglase h_1 versehen ist.

Der Horizontalkreis von 4 Zoll Theilungsdurchmefser ist in Drittelgrade getheilt, der Vernier giebt eine Minute, ein Trommeltheil des Schraubenmikroskops 10 Sekunden an. Das Fernrohr hat 10 Linien Oeffnung, 10 Zoll Brennweite und eine 20malige Vergröfserung. Sein Fadennetz besteht aus zwei nahe stehenden Verticalfäden, die von einem Horizontalfaden geschnitten werden.

Die Unterlage des Theodoliths bildet in der Regel ein Stativ mit hölzernem Kopf, auf welchem es durch die bekannte Vorrichtung befestigt wird. Wendet man eingeschlagene Spreizen an, so erhalten diese zum Durchstecken des Hakens ein Loch, um auf ihnen ebenfalls den Theodolith befestigen zu können. Ueber das dem beschriebenen Apparate zugehörige Stativ ist Fig. 137. zu vergleichen.

Zum Transport des Mefswerkzeugs dient ein Kasten mit zwei Tragriemen, durch welche er sowohl auf den Rücken, als auch vor den Leib gebracht werden kann, wie es beim Ein- und Ausfahren in Schächten häufig nothwendig ist.

2. Der Grubentheodolith von Junge.

§. 253.

In neuerer Zeit ist unter dem Namen Markscheidergoniometer vom Professor Junge in Freiberg ein Azimuthalinstrument in die praktische Geometrie des Markscheiders eingeführt, der nach dem vom Herrn Verfasser mir mitgetheilten polytechnischen Centralblatt, Jahrg. 1861 Lief. 21., das auch den in Fig. 118. in perspectivischer Ansicht dargestellten Apparat, so wie dessen Beschreibung enthält, den Hängecompass ebenfalls ersetzen soll. An demselben ist zugleich die Einrichtung so getroffen, dafs von seinem Gebrauch zu dem des Compasses und umgekehrt, übergegangen werden kann. Soll der Apparat, wie es in dem Plane des Constructeurs desselben liegt, dann den Hängecompass ersetzen, wenn die Magnetnadel wegen vorhandener Eisenmassen oder eisenhaltiger Ge-

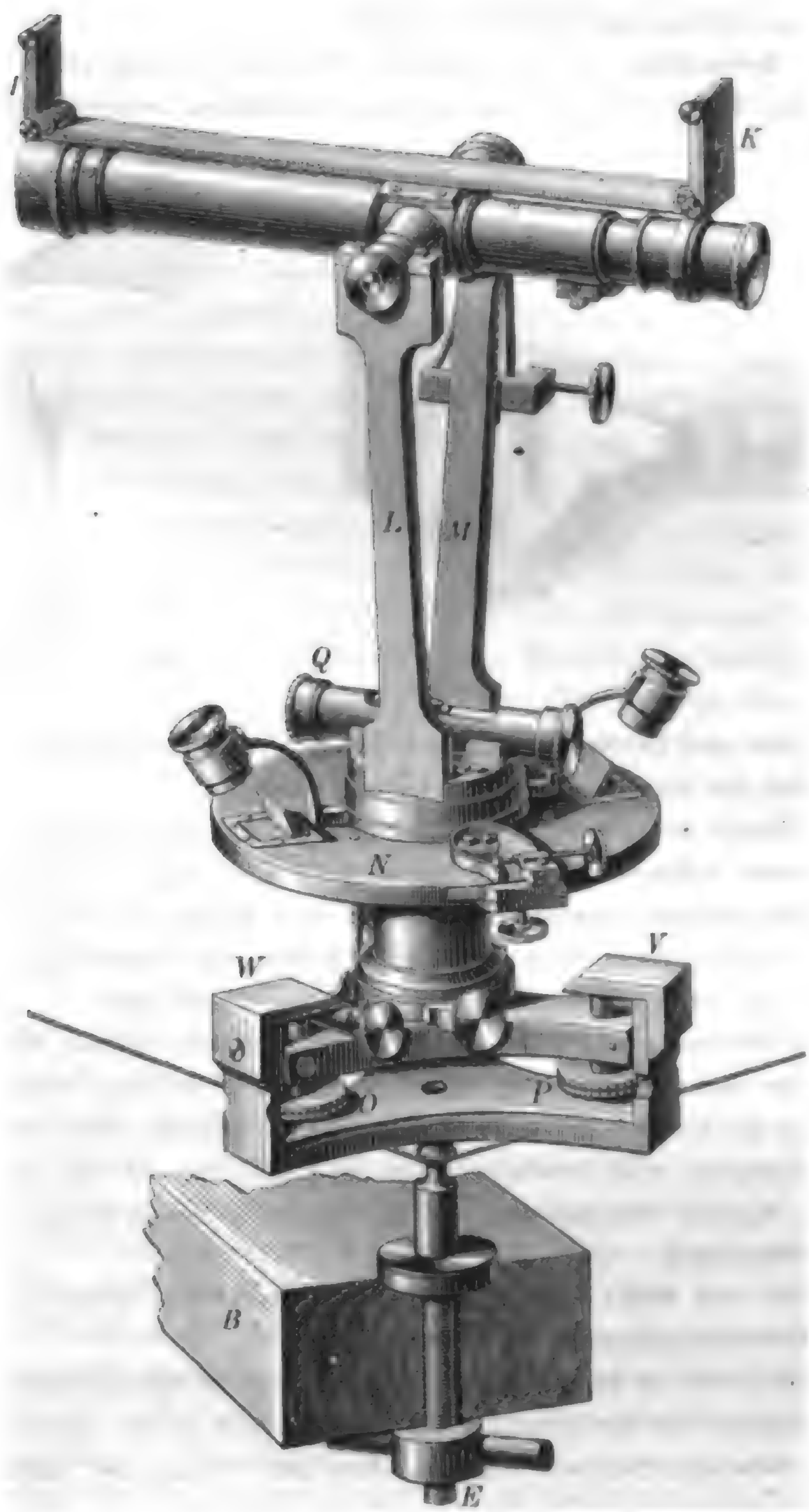
steine ihre Dienste versagt: so darf derselbe, von diesem Gesichtspunkte aus betrachtet, als vollständig befriedigend angesehen und insofern auch mit Recht empfohlen werden. Die Resultate mehrerer Markscheiderzüge *), welche mit dem in Rede stehenden Mefsapparate ausgeführt und in der vom Professor Junge mir ebenfalls mitgetheilten Berg- und Hüttenmännischen Zeitung, Jahrg. 1862 Nr. 16. und 17. beschrieben sind, liefern hiervon einen genügenden Beweis.

Zur Grundlage des Goniometers dienen bei den eigentlichen Markscheiderzügen entweder, zwischen den Wangen der Strecken oder deren Gezimmer befestigte Spreizen, parallelepipedische Hölzer von etwa 2 Zoll Dicke und 5 bis 6 Zoll Breite, denen man nach dem Augenmafse oder mittelst einer aufgesetzten Dosenlibelle eine nahezu horizontale Lage giebt, oder eigens zu diesem Zwecke construierte eiserne Träger, die aus zwei rechtwinklicht verbundenen Armen bestehen und von denen der eine in dem Seitengezimmer oder an senkrecht gestellten Spreizen oder am Gestein mit Hülfe von s. g. Dübeln festgeschraubt wird, so dafs der andere ebenfalls nahezu eine horizontale Lage bekommt. Zur Aufnahme des Instruments wird in die Spreizen *B*, Fig. 118., mittelst eines eigens dazu construirten Bohrers in verticaler Richtung ein Loch gebohrt, während die horizontalliegenden Arme der Träger bereits ein solches Loch enthalten. Durch diefs Loch wird von Oben eine Schraube gesteckt und durch eine Mutter *E* befestigt. Um den an dem oberen Ende der Schraube befindlichen Hals wird die Schnur geschlungen, deren Neigungswinkel man durch einen angehängten Gradbogen bestimmt. Das über dem Halse befindliche Gewinde dient sowohl zur Befestigung des Instruments, als auch des später zu beschreibenden Signals. Die senkrechte Stellung der Schrauben erhält man durch eine auf ihr oberes Ende aufgeschraubte Dosenlibelle.

Das Fernrohr des Instruments trägt zwei Dioptern *J* und *K*, zum Vor- und Rückwärtsvisieren eingerichtet, und ruht mit seiner Drehachse auf den hinreichend hohen Stützen *L* und *M*, so dafs dasselbe durchgeschlagen werden kann. *N* bezeichnet den Horizontalkreis, dessen Theilung durch eine Kappe geschützt wird. Jeder der beiden Verniers der Alhidade giebt eine Minute an. Der Kreis ruht auf einem Dreifufs mit Stellschrauben *O* und *P*, der von einem Gehäuse *VW* umschlofsen wird, in dessen innere Fläche die oberen Enden der Stellschrauben treten, während dasselbe an seiner Unterfläche die Mutter enthält, mittelst welcher das Instrument auf der vorhin erwähnten Schraube *E* befestigt wird. Zur Horizontalstellung des Kreises dient die zwischen den Stützen befestigte Röhrenlibelle *Q*. Endlich geschieht durch die Mikrometerwerke, von denen das eine an der einen Stütze *M*, das andere an der Alhidade und das dritte an der Büchse

*) In der bergmännischen Sprache wird die Bestimmung der Lage einer Geraden gegen den Horizont und den magnetischen Meridian das Abziehen derselben und deshalb die Bestimmung der Lage eines zusammenhängenden Systems solcher Linien ein Zug, Markscheiderzug genannt.

Fig. 118.



des Dreifufses angebracht ist, die feine Einstellung des Fernrohrs auf die Richtobjecte.

Beim Anvisieren hochgelegener Objecte wird das in Fig. 118 a. dargestellte Ocularprisma benutzt, welches auf die Ocularröhre gesteckt wird und dessen Einrichtung sich aus der Zeichnung ergiebt.

Zur Beleuchtung des Instruments dient das in Fig. 118 b. dargestellte Lämpchen. Mittelst der an seinem Boden befindlichen cylindrischen Oeffnung *i*

Fig. 118 a.

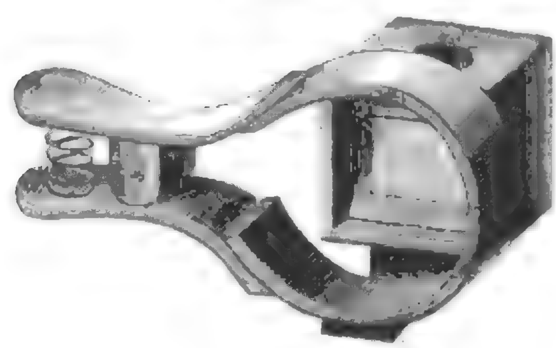
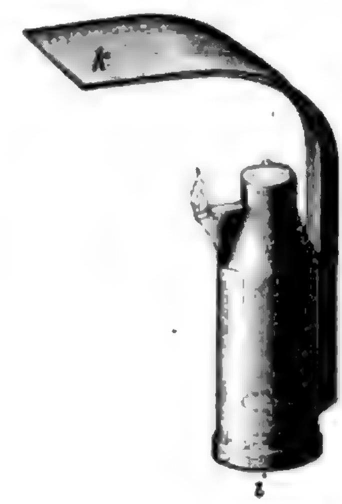


Fig. 118 b.



kann dasselbe auch in einen Blendkasten gestellt werden. Durch den angebrachten Schirm wird das Instrument vor Erwärmung geschützt.

Die Länge der zwischen dem Standpunkte und den beiden Richtobjecten ausgespannten Schnüre wird mit einem Mefsbande gemefsen, das aus einem Streifen Messingblech besteht und mittelst einer Kurbel in einer Trommel von Zinkblech aufgerollt werden kann. Zur Abhaltung des Schmutzes dienen zwei Filzstücke, die an der Mündung der Trommel angebracht sind.

Wird das Gehäuse *V W* von dem Dreifufs entfernt, so kann das Instrument auch auf ein Stativ gestellt, aber nicht auf demselben befestigt werden.

Ueber die Vorzüge des in Rede stehenden Instruments gegen die Leistungen mit dem Compass, stellt Professor Junge auf Grund der von ihm gemachten Erfahrungen folgende Behauptungen auf, die hier etwas kürzer als am a. O. dargestellt werden mögen.

1. Alle mit dem Compass ausführbaren Operationen lafsen sich auch mit dem Markscheidergoniometer ausführen.

2. Dieser ist an allen Orten brauchbar, wo es die Räumlichkeiten gestatten, mit dem Compass zu markscheiden. Namentlich läfst er sich auch in Schächten von jeder beliebigen Neigung, wenn dieselben nicht zu eng sind, anwenden.

3. Im Durchschnitt arbeitet man mit dem Goniometer eben so schnell, als mit dem Compass, auf langen, geraden Strecken schneller, auf solchen mit vielen Krümmungen dagegen langsamer.

4. Die Genauigkeit der Winkelmefsung mit dem Goniometer ist gröfser, als

die mit dem Compass; auch können wegen der Art der Winkelbestimmung grobe Fehler gar nicht vorkommen.

5. Die Handhabung des Goniometers ist eben so leicht, als die des Compasses, die Aufstellung desselben aber sicherer.

In so vollem Mafse ich nun auch die Vortheile anerkennen mufs, welche der Goniometer des Professor Junge vor dem Hängecompass besitzt, wobei aber schon allein die weit gröfsere Genauigkeit mafsgebend ist, welche der erstere gewährt: so wenig kann ich geneigt sein, auch die Vorzüge einzuräumen, die über denselben am a. O., dem Theodolithen gegenüber, vom Professor Junge aufgestellt werden. Denn abgesehen von dem unbequemeren Transport dreier Stative, welchen die Anwendung des Theodoliths fordert, kann bei einer zweckmäfsigen Einrichtung des letzteren nicht nur die Centrierung, Horizontalstellung und Mefsung der Horizontal- und Verticalwinkel, mag die Unterlage desselben ein Stativ, oder eine Spreize sein, mit gehöriger Leichtigkeit und Sicherheit sowohl in ebenen Strecken und Stollen, als auch auf Firsten- und Strossenbauen, oder anderen Abbauen des Gang- und Lagerbergbaues vorgenommen, sondern es können auch in Schächten mit demselben die Winkel mit derselben Sicherheit gemefsen werden, wenn das Fernrohr an dem einen Ende der Horizontalrotationsachse angebracht und mit einem prismatischen Ocular versehen ist und die Horizontalwinkel in beiden Lagen des Fernrohrs bestimmt werden, wie es ja bei jeder Winkelbestimmung mit einem Azimuthalinstrumente geschehen mufs. Und da auch der Theodolith sowohl auf dem Stativ, als auf einer Spreize immer sicher zu befestigen ist, so kann auch von dem am a. O. unter Nr. 4. angegebenen Bedenken keine Rede sein. Wollte man sich bei der Mefsung auf Stollen, in Querschlägen oder anderen in einerlei Richtung fortgehenden Strecken nur auf kurze Stationen beschränken, wie sie der Theodolith aber keineswegs fordert, so würden die kleinen Häkchen an dem unteren Ende der Befestigungsvorrichtungen eben so wohl zum Festspannen der Schnüre dienen können, als die Hälse der Befestigungsschrauben des Goniometers dazu benutzt werden; es könnten daher dann die Stationslängen auch mit derselben Bequemlichkeit gemessen werden. Selbst die Anschlüfse von Zügen mit dem Hängecompass veranlafst keine gröfsere Schwierigkeit, wenn man nur zum Anschlufspunkte z. B. einen Punkt in der Sohle einer Strecke oder einen andern günstig gelegenen Punkt wählt.

Indessen darf bei solchen Anschlüfsen nicht übersehen werden, dafs, wenigstens bei Durchschlagszügen, die mit dem Compass ausgeführten Züge niemals einen Theil des Hauptzuges bilden, weil man sonst den für die Ausgleichung nöthigen gesetzmäfsigen Boden verliert.

Endlich ist noch zu bemerken, dafs an dem Goniometer des Professor Junge sowohl an der Röhrenlibelle, die auch zweckmäfsiger auf die Drehachse des Fernrohrs gesetzt wird, als an der einen Stütze der Fernrohrachse, oder an dem Fufse der Stützen die nöthigen Correctionsschrauben fehlen, die zur etwaigen

Berichtigung der Libelle und der ungleichen Höhe der Achsenlager erforderlich sind.

D. Das Astrolabium.

§. 254.

Eine vollständige Beschreibung der Astrolabien darf hier wohl aus dem Grunde nicht erwartet werden, da dieselben, selbst die verbefserten Constructionen, mit vollem Rechte durch die für die Winkelmefsung viel zweckmäfsiger construierten Theodolithe schon längst ersetzt sind. Es mögen daher nur einige kurze Notizen über deren Einrichtung folgen.

Anmerkung. Die Erfindung des Astrolabiums schreibt Alexander v. Humboldt (Kosmos II. S. 297.) dem Hipparch aus Nicäa in Bithynien (150 v. Chr.) zu. Mit diesem Astrolabium darf aber nicht das der alten Seefahrer verwechselt werden, welches aus drei concentrischen Kreisen, mit denen eine Alhidade verbunden war, bestand.

Der wesentlichste Theil des Astrolabiums ist ein in halbe, Drittel- oder Viertel-Grade eingetheilter ganzer, Halb-, auch Viertel-Kreis, dessen Mittelpunkt nach Unten eine Büchse, nach Oben einen kleinen Zapfen trägt, um welchen sich ein Lineal mit Dioptern (§. 34.), eine Alhidadenregel, bewegen läfst, auf welcher auch zuweilen ein Compass befestigt ist. Zwei an den Enden des Lineals befindliche Zeiger, deren Kanten in die Erweiterung der Visierebene der Dioptern fallen, dienen zur Bestimmung der Gröfse des Winkels. Ein zweites Diopterpaar ist auch wohl noch an dem Rande des Kreises da befestigt, dafs die Visierebene durch 0° und 180° der Theilung geht. Die erwähnte Büchse wird mit dem Zapfen einer Nufs verbunden, deren Hülse wieder auf den Zapfen des Zapfen-Stativs (§. 72.) gestellt wird.

Das so construierte Astrolabium kann nur zur Mefsung derjenigen Naturwinkel dienen, die man zugleich als die Horizontalprojectionen derselben betrachtet. Wird nun die Nufs mit Stellschrauben zum Horizontalstellen des Kreises versehen, so dafs also auf demselben die Horizontalprojectionen der Naturwinkel bestimmt werden können: so müfsen nothwendig die Dioptern sich an einer in dem Mittelpunkte des Kreises errichteten Säule auf und nieder bewegen lafsen, um, ohne den Kreis zu verstellen, die Dioptern auf die Winkelpunkte richten zu können.

Eine weitere Verbefserung erleidet das Astrolabium, wenn Statt der Indices der Alhidadenregel zwei Verniers und an die Stelle der Dioptern ein Fernrohr gebracht wird, das sich auf dem oberen Ende der Säule mittelst eines Charniers ebenfalls kippen läfst. Bringt man nun aufserdem noch an dem Kreisrande eine Klemmschraube zur Hemmung der groben und eine Mikrometerschraube zur feinen Einstellung des Fernrohrs an, so erhält man das neuere verbefserte Astrolabium, welches u. a. in Joh. Tob. Mayer's Unterricht zur praktischen Geometrie I. S. 376. u. f. ausführlich beschrieben ist.

Würde nun bei einem solchen Astrolabium die Nufs durch einen Dreifufs, also das Zapfenstativ auch durch ein Scheibenstativ ersetzt, die Alhidadenregel in eine kreisförmige Alhidade mit Stützen für das Fernrohr verwandelt, das an beiden Seiten konische Achsen mit stählernen Zapfen trägt, mit welchen es in den y-förmigen Achsenlagern der Stützen ruht, so würde das Astrolabium zu einem einfachen Theodolith umgewandelt sein.

Anmerkung. Bei dem hohen Grade der Vollkommenheit, welche man in neuerer Zeit den Theodolithen gegeben hat, wird die Beschreibung einiger anderer Winkelmefser, die mehr oder weniger von dem Bau der Theodolithen abweichen, ebenfalls hier übergangen werden können. Dahin gehört insbesondere der vorzugsweise in Frankreich bei den Gradmefsungen angewandte Borda'sche und der nach ihm verbefserte Troughton'sche Repetitionskreis, der die Mefsung von Vertical- und schief liegenden, nicht aber von Horizontalwinkeln nach der Repetitionsmethode gestattet, so wie der besonders zum militairischen Gebrauch bestimmte tragbare Patenttheodolith von Schmalkalder und dessen Höhenmefser. Eine sehr vollständige Beschreibung des Borda'schen Kreises findet sich in Puissant's Traité de Géodésie, Paris 1819; der letzteren Werkzeuge in Netto's Handbuch der gesammten Vermefsungskunde I. Berlin 1820.

Die Fehler der Azimuthalinstrumente und deren Berichtigung, und der Gebrauch dieser Apparate.

1. Berichtigung des Niveau's der Horizontalrotationsachse.

§. 225.

Während bei den Höheninstrumenten die Berichtigung der Aufsetzlibelle nur eine annähernde zu sein braucht, indem die nach §. 176. leicht zu bestimmende Neigung der Rotationsachse bei der Mefsung der Verticalwinkel in Rechnung gebracht wird, sucht man bei den Azimuthalinstrumenten die Berichtigung nach §. 174. möglichst vollständig auszuführen, um bei den nachfolgenden Prüfungen das Umsetzen derselben zu ersparen.

Bei den Apparaten der Figg. 102., 108. und 111. wird der eingetheilte Kopf der einen Stellschraube dann die Berichtigung wesentlich erleichtern, während bei den in den Figg. 101., 104., 113., 114. und 117. dargestellten Azimuthalinstrumenten die Umsetzung und Berichtigung der Libelle so lange wiederholt werden mufs, bis die Luftblase vor und nach dem Umsetzen in der Mitte bleibt.

Bei den kleineren, nur zur Aufnahme des Details benutzten Theodolithen, wie bei dem in Fig. 116. dargestellten, wird die Röhrenlibelle oft durch eine Dosenlibelle vertreten, die auf der Oberfläche der Alhidade angebracht ist und wobei selbstverständlich von keiner genauen Berichtigung die Rede sein kann.

2. Berichtigung der ungleichen Höhe der Achsenlager der Rotationsachse und die Einstellung der Verticalachse.

§. 256.

1. Ist das Azimuthalinstrument mit einer Aufsetzlibelle versehen, so geschieht die Berichtigung mittelst der als berichtigt angenommenen Libelle nach dem im §. 175. angegebenen Verfahren an dem beweglichen Achsenlager der einen Stütze.

Ist aber kein bewegliches Achsenlager vorhanden, so mufs die Grundplatte der Stützen durch zwei Schrauben auf der Albidade befestigt sein, während eine dritte eine Verstellung der Platte dadurch gestattet, dafs sie mit ihrem Ende auf der Albidade ruht, deren Mutter aber in der Grundplatte liegt, wodurch also eine Hebung und Senkung der einen Stütze möglich wird. Aus diesem Grunde mufs aber die Correctionsschraube vor der einen Stütze angebracht sein.

2. Ist die Anwendung einer Aufsetzlibelle aber nicht gestattet, so stelle man den Kreis mittelst der Dosenlibelle horizontal und bestimme die Gröfse eines Horizontalwinkels zwischen zwei Objecten, die einen möglichst grofsen Höhenunterschied haben. Dann schlage man das Fernrohr durch, drehe die Alhidade um 180° und mefse den Winkel zum zweiten Male. Ist das letztere Resultat von dem ersten nicht verschieden, so darf man annehmen, dafs die Rotationsachse horizontal war. Zeigt sich aber eine Abweichung beider Werthe, so stelle man die Alhidade auf das arithmetische Mittel beider und berichtige dann das eine Achsenlager so weit, bis man im Fernrohr das zuletzt einvisierte Object wahrnimmt. Bei dem in Fig. 116. dargestellten Theodolith geschieht diese Berichtigung durch die Stellschraube d_1, indem man zugleich die Correctionsmutter d_2 nach Umständen anzieht oder lüftet.

Auch kann man eine der im §. 220, 3. angegebenen Methoden anwenden.

3. Die genaue Einstellung der Verticalachse geschieht dann nach §. 174, 3.

Anmerkung. Die in den §§. 173, 1. und 176. angegebenen Methoden, die Gestalt der Zapfen und die Neigung der Rotationsachse gegen den Horizont zu bestimmen, kommen im Allgemeinen bei den Azimuthalinstrumenten deshalb nicht in Betracht, da beide Fehler, wenn sie vorhanden sein sollten, durch die später angegebene Methode des Mefsens eines Horizontalwinkels eliminiert werden können.

3. Berichtigung der Stellung des Fadenkreuzes und des Collimationsfehlers des Fernrohrs.

§. 257.

1. Die richtige Stellung der Fadenkreuzplatte gegen das Ocular erfährt man durch das im §. 48. angegebene Verfahren. Ob die Verticalfäden des Fadennetzes wirklich vertical sind, untersucht man, wenn man die Fäden des Fernrohrs, nachdem die Verticalachse des Instruments genau vertical gestellt ist, auf einen vertical stehenden Gegenstand, z. B. auf die scharfe Kante eines Gebäudes richtet und untersucht, ob die Fäden damit zusammenfallen, oder nicht. Im letzteren Falle kann man die Abweichung durch die kleinen Stellschrauben, die an dem Ende der Objectivröhre sich befinden und gegen den Stahlrücken der Ocularröhre treten, mit Leichtigkeit verbefsern.

2. Zu der Bestimmung und Berichtigung des Collimationsfehlers des Fernrohrs kann man bei allen in den Figuren 101—105. und 108—117. dargestellten Azimuthalinstrumenten sowohl das Bessel'sche, als das Bohnenberger'sche Verfahren nach den §§. 177. und 223, 1. anwenden, indem bei ihnen die Fernröhre

sich sehr leicht durchschlagen oder doch, Statt des Durchschlagens, sehr bequem in ihren Lagern um 180° so umlegen lafsen, dafs die Zapfen in denselben Lagerflächen bleiben. Ohne Anwendung von Hülfsfernröhren kann man aber auch nach §. 223, 2., mit Ausnahme des Apparats in Fig. 116., verfahren. Da aber bei diesen Methoden immer vorausgesetzt werden mufs, dafs die beiden Zapfen gleichen Durchmefser haben, so wendet man, unabhängig von den Zapfen, bei den Theodolithen, bei welchen das Fernrohr in der Mitte der Rotationsachse sitzt, meistens folgendes Verfahren an. Man bringt das Fadenkreuz des Fernrohrs auf ein deutliches Object und liest den Stand der Mikroskope oder der Verniers an dem Horizontalkreise ab. Nun schlägt man das Fernrohr durch, oder hebt es aus seinen Lagern und legt es um 180° um, ohne dabei, wie vorhin, die Enden der Achse zu vertauschen, stellt das Fadenkreuz auf dasselbe Object und liest wieder den Stand der Schraubenmikroskope oder Verniers ab. Sind dann beide Ablesungen genau um 180° von einander verschieden, so ist der Collimationsfehler = 0. Ist diefs aber nicht der Fall, so wird die Alhidade auf das arithmetische Mittel beider Ablesungen gestellt und dann das Fadennetz durch die zugehörigen Correctionsschrauben so weit verschoben, bis der Durchschnittspunkt wieder das Object trifft. Diefs Verfahren wird dann so lange wiederholt, bis die abgelesenen Richtungen vor und nach dem Umlegen der Fernrohrachse mit einander übereinstimmen.

Ist das gewählte Object vom Standorte so weit entfernt, dafs gegen diese Entfernung der Abstand des an dem einen Ende der Rotationsachse angebrachten Fernrohrs (wie in den Figg. 102. und 117.) von der Mitte derselben verschwindet, so kann man das angegebene Verfahren auch bei den so construierten Azimuthalinstrumenten zur Anwendung bringen.

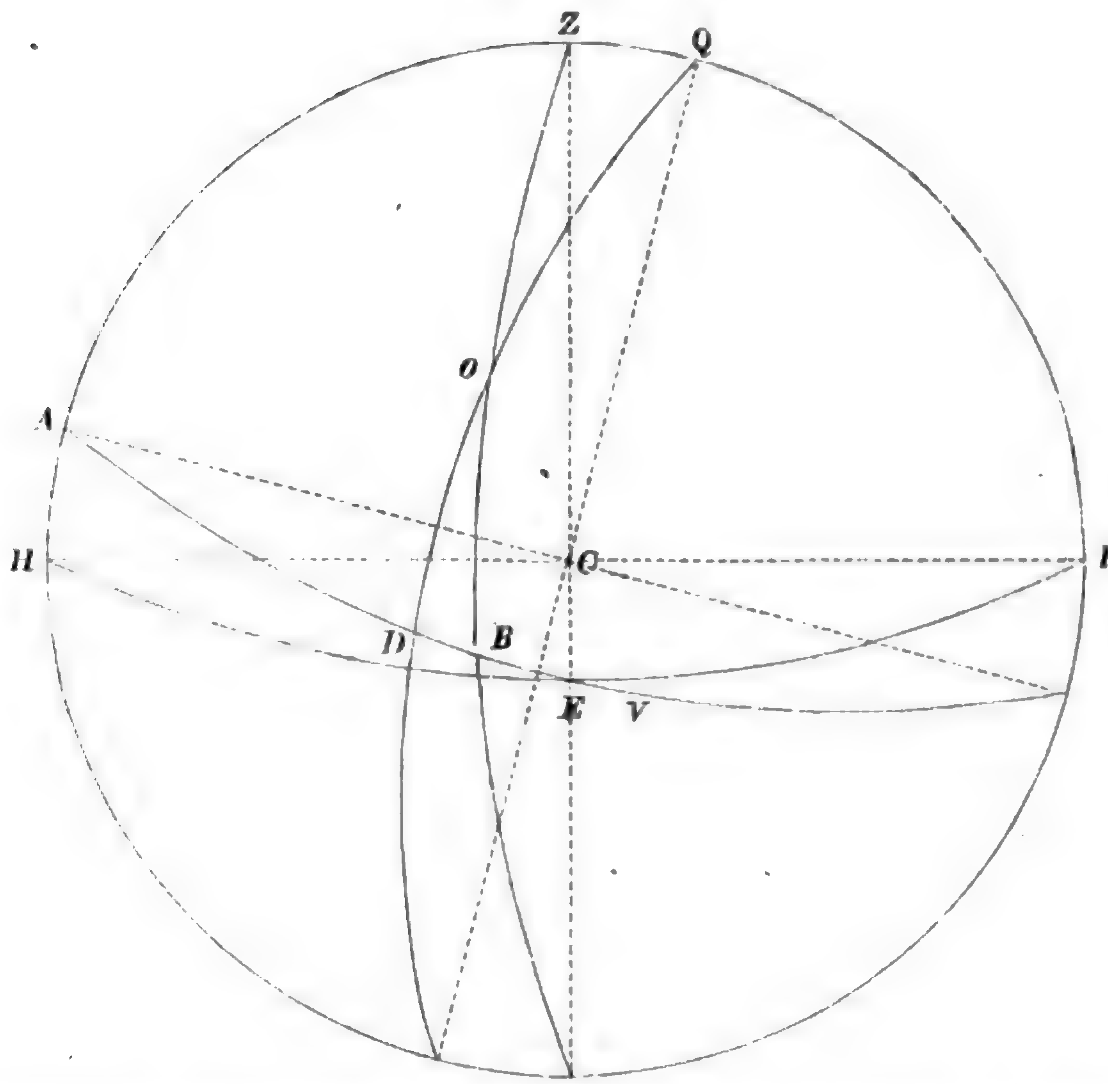
4. Einflufs der Neigung der Umdrehungsachse des Fernrohrs auf die Mefsung der Horizontalwinkel.

§. 258.

Es sei in Fig. 119. $ADBV$ die Ebene des Limbuskreises, welche gegen den Horizont um den kleinen Winkel $AEH = i$ geneigt ist. Wird das über dem Mittelpunkte C gedachte Fernrohr, von welchem aber vorausgesetzt wird, dafs der Collimationsfehler desselben = 0 ist, auf das über dem Horizonte liegende Winkelobject O gerichtet, so würde der von seiner Collimationslinie beschriebene gröfste Kreis BOZ durch das Zenith Z gehen, wenn $i = 0$ wäre; da letzteres aber nicht der Fall ist, so wird die Collimationslinie einen anderen gröfsten Kreis DOQ beschreiben, so dafs QZ ebenfalls $= i$ ist.

Bezeichnet nun V den Anfangspunkt der Theilung auf dem Limbus, so wird auf demselben, Statt des Bogens VB der Bogen $VD = a$ abgelesen, dabei also um den Bogen $BD = x$ gefehlt. Weil aber durch die bekannten mechanischen

Fig. 119.



Hülfsmittel die Rotationsachse schon annähernd horizontal gestellt war, so darf i nur als ein Sekundenwerth betrachtet und daher

$$ZO = QO = z = \text{der Zenithdistanz des Objects } O,$$

folglich

$$BO = DO = 90^0 - z$$

gesetzt werden. In den beiden, bei Q und D rechtwinklicht sphärischen Dreiecken ZOQ und ODB ist nun

$$\sin O = \frac{\sin i}{\sin z} = \frac{\sin x}{\cos z},$$

folglich

$$\sin x = \sin i \operatorname{cotg} z, \qquad [75.]$$

oder, da x und i nur sehr kleine Winkel bezeichnen,

$$x = i \operatorname{cotg} z, \qquad [76.]$$

und daher die wahre Ablesung $= a - i \operatorname{cotg} z$.

Eben so würde nun bei der Einstellung auf ein zweites Object O_1, welches nach der fortlaufenden Theilung zu, also Rechts von O liegt, wenn dessen Zenithdistanz $= z_1$ und die Ablesung $= a_1$ ist,

die wahre Ablesung $= a_1 - i \operatorname{cotg} z_1$ sein.

Der Winkel zwischen den Objecten O und O_1 ist daher

$$= (a_1 - a) - i\,(\cot z_1 - \cot z) \qquad [77.]$$

oder

$$= A_1 - i\,(\cot z_1 - \cot z).$$

Dreht man nun die Alhidade um 180° und schlägt das Fernrohr durch, so wird der gröfste Kreis QOD auf die entgegengesetzte Seite des Verticalkreises ZOB fallen und daher, wenn die beiden Ablesungen durch α und α_1 bezeichnet werden, der Winkel zwischen den Objecten nach [77]

$$= (\alpha_1 - \alpha) + i\,(\cot z_1 - \cot z),$$

oder

$$= A_2 + i\,(\cot z_1 - \cot z).$$

Der wahre Winkel A der Objecte O und O_1 ist demnach

$$A = \frac{A_1 + A_2}{2},$$

so dafs daher der Fehler, welcher aus der geneigten Lage der Rotationsachse des Fernrohrs entsteht, durch das genommene arithmetische Mittel der Werthe des Winkels in beiden Lagen des Fernrohrs verschwindet.

Anmerkung. Aus der Differenz der beiden Werthe für den Winkel

$$A_1 - i\,(\cot z_1 - \cot z)$$

und

$$A_2 + i\,(\cot z_1 - \cot z)$$

erhält man daher

$$A_1 - A_2 = -2\,i\,(\cot z_1 - \cot z),$$

worauf sich daher das im §. 256, 2. angegebene Verfahren stützt, um die Rotationsachse normal zur Verticalachse des Instruments zu stellen.

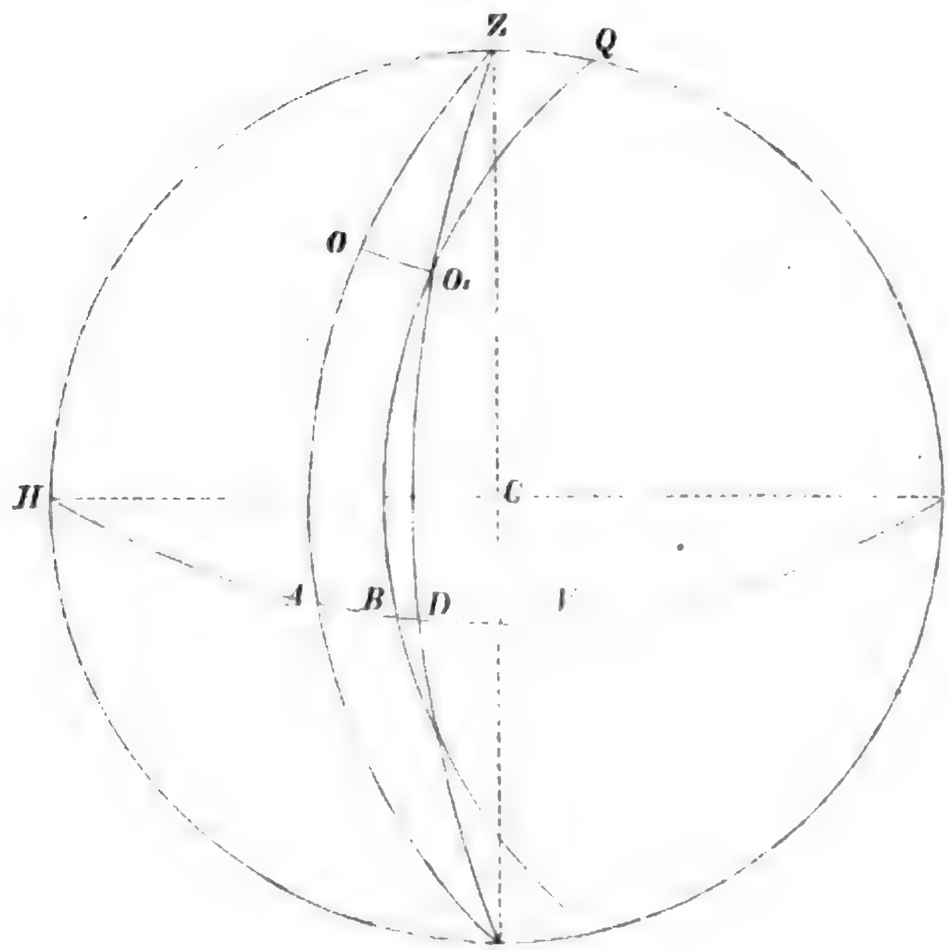
5. Einflufs des Collimationsfehlers des Fernrohrs auf die Mefsung der Horizontalwinkel.

§. 259.

Hierbei wird vorausgesetzt, dafs die Rotationsachse des Fernrohrs normal zur Verticalachse des Instruments steht.

Ist nun in Fig. 120. HAV der horizontale Limbuskreis, so würde die nach dem Object O gerichtete Collimationslinie den Verticalkreis ZOA beschreiben und daher der auf dem Horizontalkreise abgeschnittene Bogen VA der Einstellung entsprechen, wenn der Collimationsfehler $= 0$ wäre. Ist der Winkel der Rotationsachse mit der Collimationslinie, nach der Rechten zu, aber $= 90^0 + c$, so beschreibt letztere bei der Umdrehung des Fernrohrs den Mantel eines normalen Kegels, welcher auf der scheinbaren Himmelskugel einen kleinen Kreis QO_1B abschneidet, dessen Abstand vom gröfsten Kreise ZOA, $BA = c$ ist, so dafs daher durch den vorhandenen Collimationsfehler die Einstellung durch den Bogen $VB = a$ dargestellt wird, als wenn das Object nicht in O, sondern in O_1, also im Verticalkreise ZO_1D sich befände. In dem sphärischen Dreieck ZOO_1, in welchem $OO_1 = AB = c$, $ZO = z$ und der Winkel $ZO_1O = 90^0$ ist, und der Winkel $OZO_1 = x$ sein mag, erhält man daher

Fig. 120.



$$\sin x = \frac{\sin c}{\sin z},$$

oder, da x und c wieder sehr kleine Winkel sind,

$$x = \frac{c}{\sin z}. \qquad [78.]$$

Es ist demnach die der Einstellung auf das Object O entsprechende wahre Ablesung

$$a + \frac{c}{\sin z}.$$

Dreht man nun die Alhidade des Azimuthalinstruments um 180⁰ und schlägt das Fernrohr durch, so wird der kleine Kugelkreis QO_1B auf die entgegengesetzte Seite des Verticalkreises ZOA fallen, und deshalb, wenn dabei die Ablesung a_1 gemacht wäre, die wahre Ablesung

$$a_1 - \frac{c}{\sin z}$$

sein, so dafs demnach ebenfalls durch das genommene arithmetische Mittel der Werthe der Ablesung in beiden Lagen des Fernrohrs der durch den Collimationsfehler c entstandene Fehler eliminiert wird.

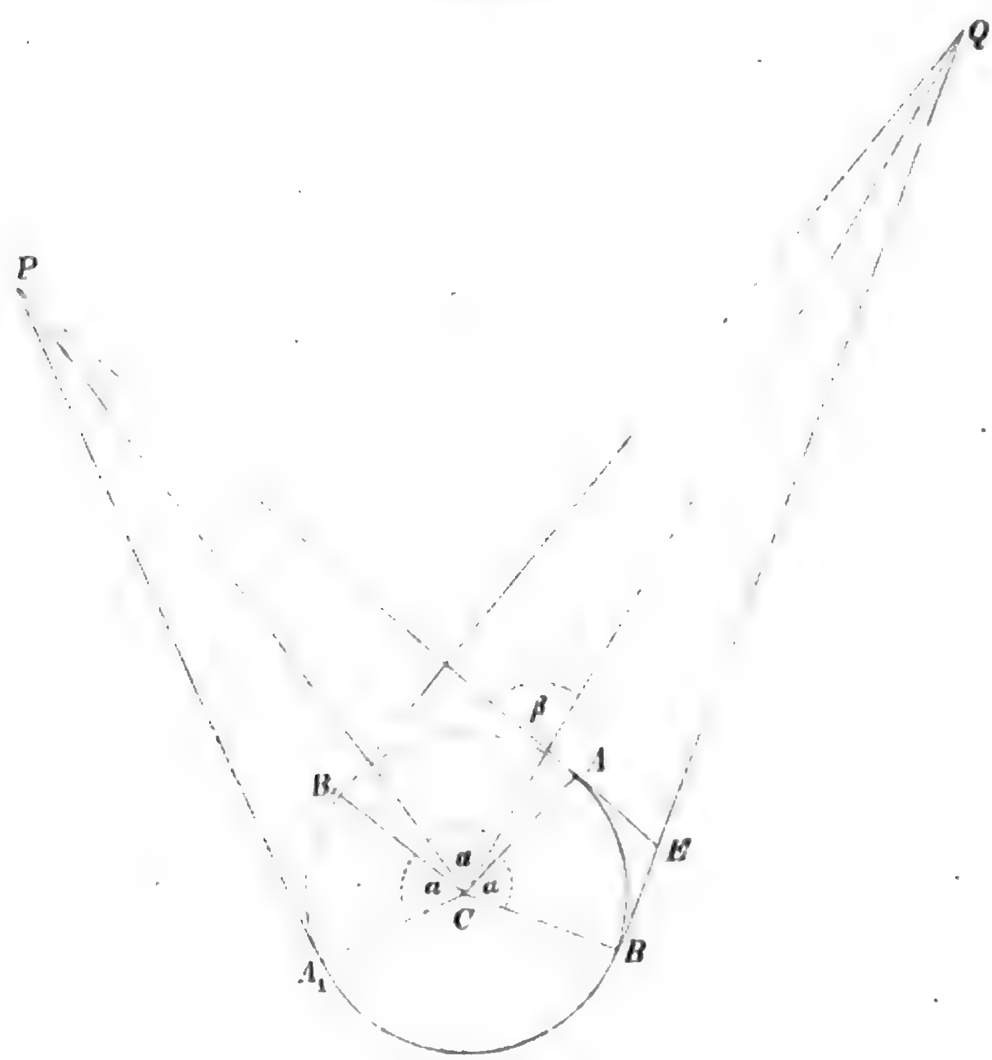
6. Einflufs des aus der Excentricität des Fernrohrs entstehenden Fehlers auf die Mefsung der Horizontalwinkel.

§. 260.

Bei dem Mefsen eines Horizontalwinkels mufs selbstverständlich die Collimationslinie des Fernrohrs senkrecht über dem Mittelpunkte der Theilung sich befinden, wenn durch die Drehung derselben von dem einen Winkelpunkt auf den anderen die wahre Gröfse des Winkels auf dem Horizontalkreise abgelesen werden soll. Da aber bei einigen Theodolithen nicht nur das Fernrohr an dem einen Endpunkte seiner Rotationsachse angebracht ist, bei den anderen Theodolithen indessen, an denen es zwischen den Stützen desselben liegt, auch nicht geradezu behauptet werden darf, dafs die obige Bedingung erfüllt ist: so ist es nothwendig, bei einer excentrischen Lage des Fernrohrs die Gröfse des Fehlers für den zu mefsenden Winkel kennen zu lernen.

Es sei in Fig. 121: C das Centrum des Kreises und $CA = CB = e$ die Excentricität des rechts vom Mittelpunkte liegenden Fernrohrs. Wird dasselbe zuerst in AP auf den linken Winkelpunkt P und darauf in BQ auf den rechten

Fig. 121.



Q gerichtet, so dreht es sich um den Winkel $PEQ = ACB = \alpha$, während $PCQ = a$ der zu messende Winkel ist.

Da nun $$a + 90^0 - Q = \alpha + 90^0 - P \text{ ist,}$$
so ist $$a = \alpha - (P - Q),$$
also a nur dann $= \alpha$, wenn $P = Q$ ist, d. h. wenn die Objecte vom Standorte gleiche Entfernung haben; je verschiedener aber diese Entfernung ist, desto größer wird der Fehler ausfallen.

Bezeichnet man die als bekannt angenommenen Entfernungen des links und rechts liegenden Objects beziehungsweise durch l und r, und berücksichtigt, daß die Winkel P und Q immer sehr klein sein werden, also dieselben ihren Sinus proportional gesetzt werden dürfen, so ist in Sekunden
$$a = \alpha - 206265\left(\frac{e}{l} - \frac{e}{r}\right),$$
also der Werth
$$-\,206265\left(\frac{e}{l} - \frac{e}{r}\right) \text{ Sekunden} \qquad [79.]$$
dem aus der Excentricität des rechts vom Centro C liegenden Fernrohrs entspringenden Fehler gleich.

Liegt dasselbe aber links vom Mittelpunkte des Limbuskreises, so daß A_1P und B_1Q die nach den Objecten gehenden Richtungen der Collimationslinie ausdrücken, so ist
$$a + 90^0 - P = \alpha + 90^0 - Q,$$
und daher $$a = \alpha + (P - Q),$$
oder $$a = \alpha + 206265\left(\frac{e}{l} - \frac{e}{r}\right),$$
mithin der Werth des Fehlers
$$+\,206265\left(\frac{e}{l} - \frac{e}{r}\right) \text{ Sekunden.} \qquad [80.]$$

Es wird demnach der aus der Excentricität des Fernrohrs entspringende Fehler bei der Winkelmeßsung wieder eliminiert, wenn man von den in beiden Lagen des Fernrohrs erhaltenen Resultaten das arithmetische Mittel nimmt.

Anmerkung. Ueber den Excentricitäts- und Theilungsfehler bei getheilten Kreisen vergleiche man §§. 199—202.

§. 261.

Anmerkung. Die Untersuchung über den Einfluß des Fehlers, der bei der Meßsung der Horizontalwinkel durch die Neigung des Alhidadenkreises gegen den Limbuskreis entsteht, fordert die Kenntniß der beiden Winkel, welche die Durchschnittslinien der Ebene der Alhidade und des Limbuskreises mit den beiden Verticalebenen einschließen, die beim Einstellen der Collimationslinie auf die beiden Winkelobjecte durch die Indices der Verniers

gelegt werden. Da aber diese Winkel, abgesehen davon, dafs sie überhaupt nicht mit Genauigkeit gemefsen werden können, hinsichtlich ihrer Gröfse zwischen Null und dem Neigungswinkel der beiden Kreisebenen liegen, so wird der berechnete Fehler an verschiedenen Stellen des Limbus einen verschiedenen Werth annehmen. Weil aber die Mechaniker durch die bekannten mechanischen Vorrichtungen jetzt in den Stand gesetzt werden, mit der erforderlichen Schärfe zu prüfen, ob die an den Flanschen der Achsen befestigten Kreise normal zu den Achsen stehen, so wird beim Gebrauch der Azimuthalinstrumente besonders auf die genaue Einstellung der Verticalachse zu achten sein, wozu gute empfindliche Röhrenlibellen vollkommene Gelegenheit darbieten. Und da aufserdem die Verticalachse durch ihre Tragfeder immer eine Verstellung verträgt, so darf man, bei möglichst richtiger Einstellung der Rotationsachse, annehmen, dafs die Verniers der Alhidade mit dem Limbus in einer und derselben Horizontalebene liegen, oder dafs wenigstens durch die etwa vorhandene Abweichung nur ein Fehler in der Bestimmung des Horizontalwinkels entsteht, der den zufälligen oder unvermeidlichen Fehlern zugesellt werden kann.

Eben so darf bei der jetzigen Einrichtung unserer Mefsapparate von der Gröfse des Einflufses einer nicht genau centrischen Aufstellung des Mefswerkzeuges über dem Scheitelpunkte des Winkels keine Rede sein, da eine solche Aufstellung vermieden werden kann und daher der dadurch entstehende Fehler nicht den zufälligen und constanten Fehlern, sondern den vermeidlichen Fehlern zugehört. Wenn aber die Aufstellung des Mefswerkzeugs in dem Scheitelpunkte des zu mefsenden Winkels überhaupt nicht gestattet ist, so wird im §. 273. gezeigt werden, durch welche Mefsungen und Berechnungen dann der Winkel dennoch zu bestimmen ist.

Dafselbe gilt von dem Einflufs des Fehlers, der von dem unrichtigen Einvisieren der Winkelpunkte entsteht. Man würde sonst mit demselben Rechte auch von dem Fehler sprechen können, der bei der Bestimmung eines Horizontalwinkels dadurch entsteht, dafs diese in einer Tageszeit erfolgt, wo die durch das vorhandene Wallen oder Flimmern der Luft entstehende scheinbare Bewegung der Objecte eine Winkelmefsung sehr unsicher macht, und daher letztere immer zu vermeiden ist.

7. Mefsung eines Horizontalwinkels zwischen terrestrischen Objecten mittelst des Theodoliths.

§. 262.

Wenn man von den verschiedenen Methoden, mittelst des Theodoliths die Gröfse eines Horizontalwinkels zu bestimmen, vorerst abstrahiert, so kann man bei der Mefsung drei verschiedene Acte von einander unterscheiden: die Aufstellung des Mefsapparats über dem Scheitelpunkte des Winkels; die Berich-

tigung und Horizontalstellung desselben; und die Einvisierung auf die Winkelobjecte, so wie die Ablesung der Schenkelrichtungen auf dem Horizontalkreise.

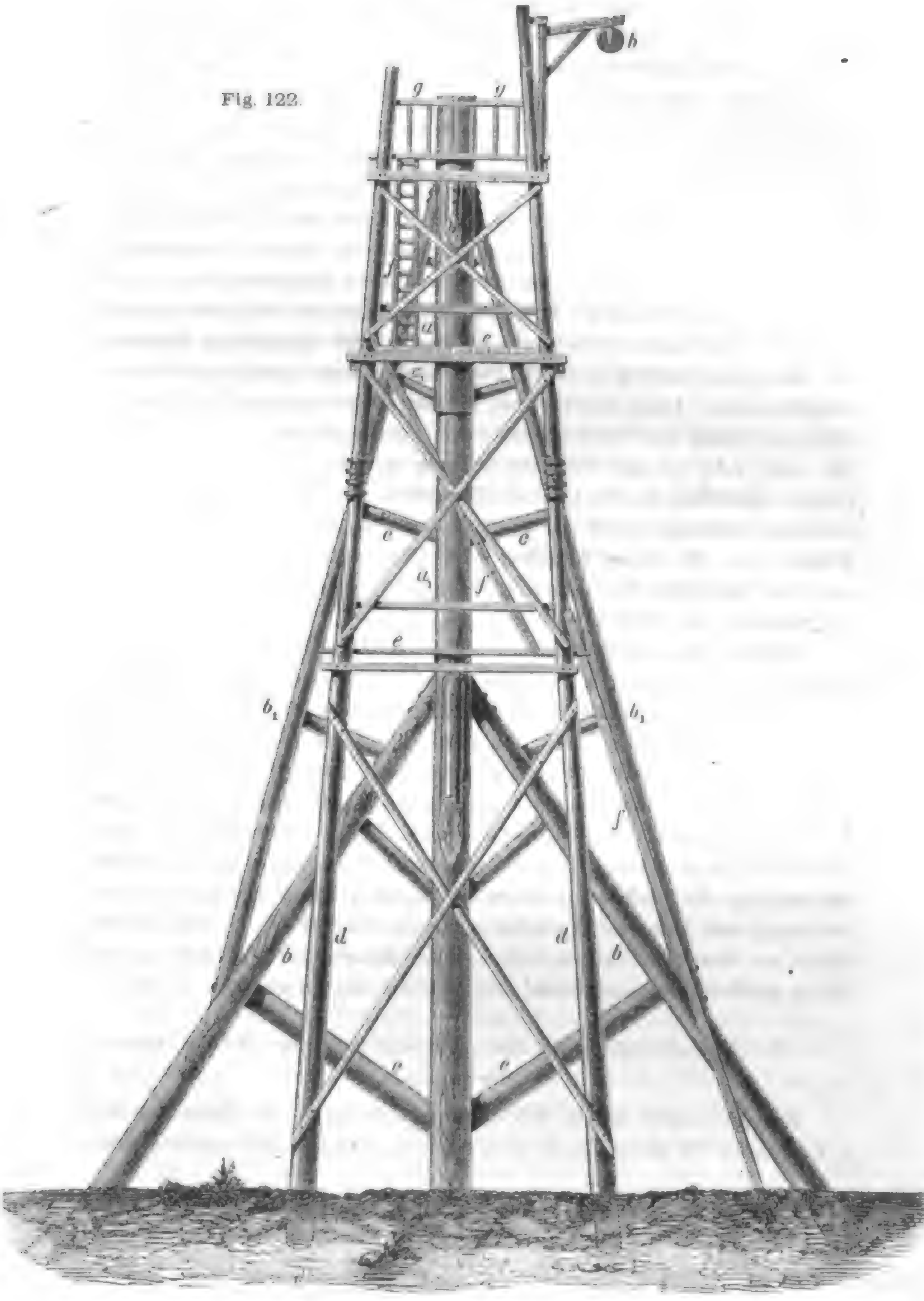
a. Die Aufstellung (Centrierung) des Mefsapparats.

§. 263.

Es ist schon im §. 68. erwähnt, dafs die Unterlage des Mefsapparats theils massive Pfeiler von Stein oder Mauerwerk, oder eingegrabene Holzstämme, oder künstliche Stative bilden. Bei den gröfseren Mefsungen, z. B. bei der Aufnahme eines Dreiecksnetzes, bilden dann die erwähnten Pfeiler oder Baumstämme nicht nur die Unterlage des Instruments, sondern auch die der Signalisierungsapparate, wovon weiter unten die Rede sein wird. Da, wo es geschehen kann, erheben sie sich nur 3 bis 3¼ Fufs über die Oberfläche des Bodens; der Mittelpunkt der oberen Grundebene eines in die Unterlage eingelafsenen Messingcylinders, der wenige Linien über die Oberfläche hervortritt, dient dann als Scheitelpunkt des Winkels. In den Fällen aber, wo grofse Wälder eine weite Aussicht hindern und auch keine Durchbaue mehr gestattet sind, werden höhere Aufstellungspunkte erfordert. Von einem solchen, wie er bei der Küstenvermefsung in Ostpreufsen angewandt wurde, giebt Fig. 122. ein Bild. Zwei auf einander gesetzte Baumstämme $a a_1$, an sich schon, aufserdem aber noch durch hinreichend starke Streben $b b b b_1 b_1 b_1$ und Querriegel $c c c c c_1 c_1$ in dem Erdboden gehörig befestigt, bilden den Beobachtungspfahl. Um ihn herum, und völlig isoliert von demselben, ist ein Gerüst dd mit Bühnen ee errichtet, welches durch Leitern fff von dem Beobachter erstiegen werden kann. Ueber die oberste Bühne erhebt sich die Oberfläche des Pfahls 3 bis 3¼ Fufs und in derselben Höhe trägt der Fufsboden ein Geländer gg. Eine an einem Querbalken angebrachte Rolle h dient zum Aufwinden der Mefsgeräthe. Die meisten dieser Signale haben eine Höhe von 10 bis 30 Fufs, doch wurden bei der erwähnten Küstenvermefsung auch solche bis 60 und 80 Fufs Höhe angewandt. Aufserdem sucht man den Standpunkt noch durch ausgespannte Leinwand oder Wachstuch vor dem Wind, der Sonne oder Unwetter zu schützen. Zu demselben Zwecke ist über jedem der niedrigeren Beobachtungspfeiler oder Beobachtungspfähle noch ein leichteres Gerüst errichtet, das aus vier Eckstangen besteht, über den Pfeiler hervorragt und Oben durch Latten gehörig verbunden ist.

Bei kleineren Mefsungen dient zur Markierung der Winkelpunkte ein Holzpfahl mit quadratischer Oberfläche, auf welcher durch den Durchschnitt zweier eingerifsener, sich kreuzender Linien der Scheitelpunkt des Winkels bezeichnet ist. Die Unterlage bildet bei den gröfseren Theodolithen ein Scheibenstativ mit hinreichend grofsem Holzkopf, um auf demselben das Mefswerkzeug mit seinen Unterlegscheiben um mehrere Zolle nach allen Richtungen verschieben zu können; bei den kleineren Theodolithen ebenfalls ein Scheibenstativ, mit welchem sie zeitweilig verbunden werden können.

Fig. 122.



Die Centrierung selbst ist in allen Fällen mit der gröfsten Sorgfalt auszuführen; eine verschiedene Ausführung aber durch die verschiedene Unterlage bedingt. Bei der Gradmefsung in Ostpreufsen wurde von Bessel und Baeyer*) der Theodolith nicht unmittelbar auf den Pfeiler, sondern auf einen eisernen Dreifufs gestellt, dessen horizontal auslaufende Arme konische Löcher zur Aufnahme der Spitzen der Stellschrauben des Theodoliths enthielten. Das Mittelstück des Dreifufses war so durchbohrt, dafs die Oeffnung genau auf den etwas hervorragenden Messingcylinder des Pfeilers passte, wodurch also nicht nur eine leichte und zugleich sichere Centrierung, sondern auch eine bequeme Umdrehung des Mefsapparats möglich wurde. Bei der preufsischen Küstenvermefsung wandte Baeyer**) ein rechtwinklichtes Dreieck an, das, nachdem der Theodolith annähernd über den Scheitelpunkt gebracht war, in zwei um 90⁰ verschiedenen Richtungen mit seiner einen Kathete so auf die Pfeilerfläche gesetzt wurde, dafs die andere lothrecht stand. Längs der letzteren Kathete wurde nach dem Scheitelpunkte visiert und darauf der Theodolith mit seinen Unterlegscheiben so weit verschoben, dafs seine Achse mit der Kante des Dreiecks zusammenfiel und diefs Verfahren so lange wiederholt, bis die Achse des Theodoliths in beiden auf einander normal stehenden Richtungen durch die Kante des Dreiecks und den Scheitelpunkt des Winkels ging. Zu diesom Verfahren wird indessen erfordert, dafs die Verticalachse des Theodoliths durch einen in eine Spitze auslaufenden cylindrischen Ansatz unterhalb der Tragfeder kenntlich gemacht ist.

Dient bei den kleineren Mefsungen dem Theodolith ein Stativ zur Unterlage, so wird letzteres zunächst in einer zum Beobachten bequemen Höhe so über dem Pfahle aufgestellt, dafs annähernd die Mitte der Oeffnung des ungefähr horizontal liegenden Kopfes lothrecht über dem Pfahle liegt, worauf dann die Füfse desselben, ohne die Lage des Kopfes in horizontaler Richtung wesentlich zu verändern, gleichmäfsig fest in den Boden gedrückt werden. Dann bringt man durch den Senkelungsapparat der Fig. 51. und durch etwaige Verschiebung des Theodoliths auf dem Stativkopfe die Verticalachse desselben genau senkrecht über den Scheitelpunkt des Winkels. Gestattet der Stativkopf diese Verschiebung nicht, wie es bei den kleineren Theodolithen meistens der Fall ist, so mufs das Einlothen vor dem Aufsetzen und Befestigen des Apparats auf dem Stativ von dem Haken der Befestigungsvorrichtung (Figg. 49. und 50.) vorgenommen werden.

b. Die Berichtigung und Horizontalstellung des Theodoliths.

§. 264.

Nun erfolgt nach den §§. 252—254. eine Berichtigung des Theodoliths insofern, als man sich überzeugt, ob nach längerem Gebrauch oder weiterem Trans-

*) Gradmefsung in Ostpreufsen von Bessel und Baeyer. Berlin 1838.

**) Baeyer, die Küstenvermefsung und ihre Verbindung mit der Berliner Grundlinie. Berlin 1849.

port keine **groben** Fehler vorhanden sind, indem die **kleineren** nach den §§. 258—260. durch die Anordnung der Beobachtungen eliminiert werden können.

Die Horizontalstellung des Theodoliths, welche nur in der Lothrechtstellung der Verticalachse besteht, geschieht dann nach dem im §. 174, 3. angegebenen Verfahren, indem man die Alhidade so weit dreht, bis die Aufsetzlibelle in die Richtung des einen Armes des Dreifufses kommt und mit der zugehörigen Stellschraube die Luftblase zum Einspielen bringt; dann die Alhidade um 90° dreht und mittelst der beiden anderen Stellschrauben die Luftblase wieder einstellt und diese Drehungen und Einstellungen der Blase abwechselnd so lange wiederholt, bis auch schliefslich bei einer vollen Umdrehung die Luftblase ihren Stand behält. Alsdann ist die Verticalachse der Alhidade lothrecht, letztere mit dem Limbuskreise daher horizontal. Sollte man aber, unter der Voraussetzung, dafs die Höhe der Achsenlager bereits berichtigt ist, die Luftblase bei einer ganzen Umdrehung der Alhidade nicht auf demselben Stande erhalten können, so hat letztere in ihrer Büchse einen zu grofsen Spielraum und mufs dann durch die an der Tragfeder befindlichen Schrauben etwas tiefer eingesenkt werden.

Findet sich, Statt der Röhrenlibelle, nur eine Dosenlibelle zum Verticalstellen der Alhidadenachse, so bleibt das Verfahren dem obigen gleich, nur wird man nicht auf eine gleiche Genauigkeit rechnen können.

c. Die Einstellung des Fernrohrs auf die Winkelobjecte und die Ablesung der Verniers oder der Schraubenmikroskope.

§. 265.

Beim Einstellen des Fernrohrs auf die Winkelobjecte hat man besonders darauf sein Augenmerk zu richten, dafs deren Bilder, welcher Art sie auch sein mögen, immer genau in die Mitte der beiden Verticalfäden, oder, wenn das Fadennetz auch zwei Horizontalfäden enthält, in den von den vier Fäden gebildeten quadratischen Raum gebracht werden. Nachdem also die Klemmschraube der Alhidade und die Druckschraube an dem Ringe der Fernrohrachse gelöst sind, bringe man das Fadenkreuz auf das links liegende Object, da bei dem Limbuskreise die Eintheilung von Links nach Rechts mit wachsenden Ziffern bezeichnet ist, hemme alsdann die grobe Bewegung und stelle mit den Mikrometerschrauben das Fadenkreuz genau ein. Dafselbe geschieht bei dem rechts liegenden Objecte.

Um aber auch bei **den** Theodolithen, deren Alhidaden-Mikrometerwerke nicht die in den §§. 219. und 245. angegebene und in den Figg. 104. und 105., so wie 108—110. dargestellte Einrichtung haben, den im §. 231. erwähnten Fehler zu vermeiden, der bei dem Hemmen der groben Achsendrehung durch das Anziehen der Klemmschraube und durch das Umdrehen der Mikrometerschraube des Mikrometerwerks in der Spannung der Speichen oder des Randes des Kreises entsteht, wenn die Mikrometerschraube bald nach der einen, bald nach der anderen Seite gedreht wird: mufs man immer zwei Einstellungen machen, indem man das Faden-

kreuz ein Mal von Rechts nach Links und dann von Links nach Rechts auf das Bild des Objects bringt, beide Male abliest und von den erhaltenen Resultaten das arithmetische Mittel nimmt. Bei den Federmikrometerwerken (Figg. 74—76.) dagegen, bei welchen der todte Gang der Mikrometerschraube von der in der gehörigen Spannung befindlichen Feder stets aufgehoben wird, kann man den etwa noch vorhandenen Fehler wieder dadurch unschädlich machen, wenn man bei einer guten und vollständigen Wirkung der Hemmungen, die Mikrometerschraube bei beiden Objecten immer nur nach einer Richtung umdreht und die groben Drehungen hemmt, wenn das Fadenkreuz bei beiden Objecten einen gleichen Abstand von den Bildern desselben hat.

§. 266.

Nachdem man nun nach dem vorigen Paragraphen das Fadenkreuz des Fernrohrs zuerst auf das linke Object, je nach der Beschaffenheit des Alhidaden-Mikrometerwerks, zwei oder ein Mal eingestellt hat, wird nach §§. 62. und 63. der Stand der Verniere vollständig, oder bei den mit Schraubenmikroskopen versehenen Theodolithen, der Stand des am Mikroskopenträger befindlichen Verniers in Graden und Gradtheilen abgelesen, der Stand des Fadenkreuzes jedes Mikroskopes aber nach §§. 65. und 66. bestimmt. Da nun nach §. 245. bei dem in Fig. 108—110. dargestellten Theodolith die Werthe eines Trommeltheils der Mikroskope 1. 2. 3. und 4. beziehungsweise 3,019; 2,992; 2,911 und 3,097 Sekunden betragen, so sind mit diesen Zahlen die abgelesenen Trommeltheile jedes Mikroskopes zu multipliciren und den am Vernier abgelesenen Graden und Gradtheilen zuzusetzen. Dieselben Bestimmungen werden darauf nach dem Einstellen der Visierlinie des Fernrohrs auf das rechts liegende Object gemacht. Zieht man dann von den zweiten Ablesungen die ersten, an demselben Vernier oder dem nämlichen Schraubenmikroskope gemachten ab, so bekommt man so viel Werthe des Winkels, als Verniere oder Schraubenmikroskope vorhanden sind. Das arithmetische Mittel dieser Winkelwerthe würde daher den Werth des gemefsenen Winkels darstellen, wenn der Theodolith in allen seinen Theilen als vollständig berichtigt angesehen werden könnte. Da diefs aber nicht angenommen werden darf, so wird, wie schon in den §§. 258—260. erwähnt wurde, noch eine zweite Mefsung des Winkels in der Art vorgenommen, dafs man entweder das Fernrohr durchschlägt, oder, falls diefs nicht möglich ist, es aus seinen Achsenlagern hebt, um 180° dreht, und ohne die Achsenenden unter einander zu vertauschen, wieder einlegt und daher auch die Alhidade oder den Mikroskopenträger um 180° bei unverrücktem Limbuskreise dreht. Auch wird dann aufs Neue die Luftblase der Libelle wieder eingestellt. In dieser zweiten Lage des Fernrohrs erhält man also wieder eben so viel Werthe des Winkels, als in der ersten, und kann daraus wie vorhin, auch einen Mittelwerth bestimmen. Dann wird das arithmetische Mittel aus den Mittelwerthen in beiden Lagen des Fernrohrs den Werth des Winkels geben.

in welchen die oben erwähnten Fehler nicht mehr, sondern aufser den Fehlern der Einstellung und Ablesung nur noch Theilungsfehler vorkommen.

Die Einrichtung des Manuals und der Berechnung zeigen die folgenden Beispiele.

1. Theodolith mit Verniers.

Vernier	Object *A* Gr.	M.	S.	Object *B* Gr.	M.	S.	Winkelwerth		
	1. Lage des Fernrohrs.								
1	30	2	15	148	22	5			
2			5			0			
3			22,5			15			
4			17,5			10			
Mittel	30	2	15	148	22	7,5	118	19	52,5
	2. Lage des Fernrohrs.								
1	210	2	7,5	328	22	0			
2		1	57,5		1	52,5			
3		2	15		2	2,5			
4		2	15			7,5			
Mittel	210	2	8,75	328	22	0,625	118	19	51,875
						Mittel	118	19	52,1875

2. Theodolith mit Schraubenmikroskopen in 1. Lage des Fernrohrs.

Mikroskop	Abgelesene Trommeltheile für das Object *A*	*B*	Trommeltheile im Bogenmafs. Sekunden. Object *A*	*B*	Vernierangabe für das Object *A* Gr.	M.	S	*B* Gr.	M	S	Object *A* Gr.	M	S.	*B* Gr.	M	S.	Winkelwerth Gr.	M.	S
1	20,5	2,8	61,89	8,45	50	12	—	130	15	—	50	13	13,99	120	15	20,59	80	2	6,6
2	33,2	10,2	99,33	30,52															
3	24,8	8,2	72,19	23,87															
4	20,2	6,3	62,56	19,51															
		Mittel	73,99	20,59															

Anmerkung. Sollte die Ablesung nach dem rechts liegenden Object *B* einen kleineren Werth geben, als die nach dem Object *A*, so ist selbstverständlich dem ersteren 360° zuzusetzen.

Die wiederholt einfache Winkelmefsung.

§. 267.

Um nun auch noch die Theilungsfehler möglichst unschädlich zu machen, läfst man der ersten Beobachtung noch mehrere andere folgen, indem man den Anfangspunkt der Theilung, also den ersten Vernier nach und nach um 15°, 30°, 45° u. s. w. verändert und auch hierbei immer den Winkel in beiden Lagen des Fernrohrs mifst. Hat der Theodolith nur ein einfaches Achsensystem, wie der in Fig. 113. dargestellte, so wird man die Veränderung des Anfangspunktes der Theilung nur durch Verschiebung des Dreifufses auf seiner Unterlage erreichen können und daher aufser einer nochmaligen Horizontalstellung der Alhidade auch eine nochmalige Centrierung vornehmen müfsen. Letztere wird aber durch ein zweifaches Achsensystem erspart, daher schon insofern die s. g. Repetitionstheodolithe einen Vorzug vor den einfachen haben. Um aber in diesem Falle das Resultat der Mefsung von einem etwaigen Fehler in den beiden Achsen nicht abhängig zu machen, mufs nach der vorgenommenen Verstellung der Alhidade die Klemm- oder Druckschraube des Kreises gelöst und letzterer mit der angeschlofsenen Alhidade (oder mit dem Mikroskopenträger) so weit nach Links gedreht werden, dafs das Bild des Objects *A* dicht am Fadennetz des Fernrohrs erscheint. Dann zieht man die erwähnte Klemm- oder Druckschraube fest an und nimmt die Horizontalstellung nur durch die Drehung der Alhidaden- (oder Mikroskopenträger-) Achse vor.

Will man bei der ersten Winkelmefsung mittelst des Repetitionstheodoliths den Vernier 1. auf Null stellen, so mufs man noch bei der Einstellung des Fernrohrs auf das Object *A* das Fadennetz etwas rechts vom Bilde des Objects bringen, damit beim späteren Drehen der Alhidade der Index des Verniers 1. nicht unter Null, d. h. zwischen 350° und 360° zu stehen kommt, um die Zuzählung von 360° beim Object *B* zu vermeiden.

Sind in einem Punkte mehrere neben einander liegende Winkel zu mefsen, wie es bei der Aufnahme eines Dreiecksnetzes immer der Fall ist, so wird das Fernrohr zuerst auf einen beliebigen Winkelpunkt, den man als den ersten ansehen will, dann nach einerlei Richtung nach Rechts herum auf jeden anderen eingestellt und bei jeder Einstellung abgelesen. Auf die Beendigung dieser Beobachtungsreihe folgt dann eine zweite in umgekehrter Ordnung; durch das arithmetische Mittel aus beiden befreit man sich dann von der Voraussetzung der Unveränderlichkeit des Anfangspunktes der Theilung des Instruments.

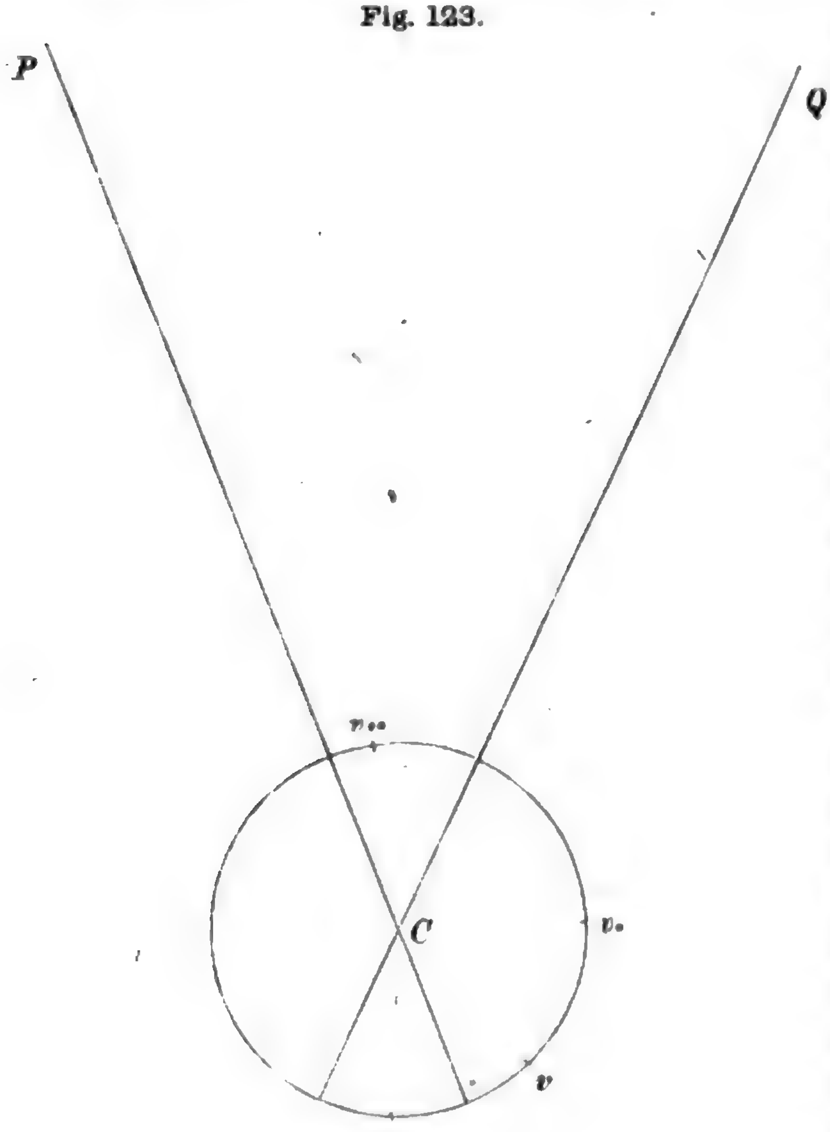
Zwei solche zusammengehörige Beobachtungsreihen pflegt man einen **Satz** zu nennen. Dann folgt wieder die Umlegung des Fernrohrs, die Verstellung des Anfangspunktes u. s. w. wie vorhin. Dabei ist bei jedem neuen Satz und jeder Umlegung des Fernrohrs die etwa verstellte Luftblase zu verbefsern.

8. Meſsung eines Horizontalwinkels mittelst des Theodoliths nach der einfachen Repetitionsmethode.

§. 268.

Es wird ausreichend sein, hierbei nur einen Theodolith mit Vernieren zu berücksichtigen. Um mittelst desselben die Gröſse eines Horizontalwinkels nach der einfachen Repetitionsmethode zu meſsen, muſs der Horizontalkreis des Theodoliths nicht allein ein zweifaches Achsensystem, sondern zugleich auſser der Klemm- oder Druckschraube zur Hemmung des Limbuskreises auch noch ein Mikrometerwerk zur feinen Bewegung desselben gegen die Büchse des Dreifuſses enthalten. Nachdem man nun nach den §§. 263. und 264. die Centrierung und Horizontierung, letztere aber durch Drehung des Kreises mit der Alhidade ausgeführt hat, stellt man gewöhnlich den Vernier 1. auf den Nullpunkt der Theilung und liest den Stand der Verniere ab. Dann drehe man den Kreis mit der Alhidade so weit herum, bis man im Fernrohr das linke Winkelobject P in Fig. 123. erblickt, hemme die groben Bewegungen und stelle das Fadenkreuz durch Anwendung der Mikrometerschrauben scharf auf P ein. Löst man nun die Klemmschraube des Alhidadenmikrometerwerks und stellt das Fadenkreuz des Fernrohrs durch Drehung der Alhidade auf das rechts liegende Object Q, so ergiebt sich nach §. 266. die Gröſse des Winkels PCQ an dem einen Vernier durch den Bogen vv_1, wenn die Lagen des Index des Verniers v und v_1 beziehungsweise den Lagen der Visierlinie nach den Objecten P und Q entsprechen. Nun löse man wieder die Hemmung des Limbuskreises und bringe durch Drehung und feine Einstellung desselben, aber bei unver-

Fig. 123.



ändertem Stande der Alhidade, die Visierlinie auf das links liegende Object P, so wird v nach v_0 kommen und daher $v\,v_0 = v\,v_1$, also $v_1\,v_0 = 2\,v_1\,v$ sein, wenn bei der vorgenommenen Drehung des Kreises mit der Alhidade und der Einstellung des ersteren auf das Object P angenommen werden kann, dafs der Anfangspunkt dieser zweiten Mefsung, welche durch die Drehung der Alhidade und die Einstellung der Visierlinie auf das Object Q beendigt sein wird, identisch ist mit dem Endpunkt der ersten, so dafs also dann der Index des Verniers das doppelte Mafs des Winkels angiebt. Unter derselben Voraussetzung wird nun, wenn man nach dieser zweiten Mefsung zu einer dritten, vierten u. s. w. übergeht und dabei immer wechselsweise erst mit der Drehung des Limbuskreises nebst angeschlofsener Alhidade, die Visierlinie des Fernrohrs zuerst auf das Object P und dann nach alleiniger Drehung der Alhidade auf das Object Q einstellt, am Ende der $n$ten Operation der Index desselben Verniers von dem Nullpunkte der Theilung um einen Bogen abstehen, der das $n$fache Mafs des Winkels PCQ darstellt, wobei also die zwischenliegenden Stände des Verniers nicht abgelesen zu werden brauchen. Weil aber die folgenden Ablesungen, sobald der Index über 360^0 fortgerückt ist, nicht stets wachsende Zahlenwerthe geben können, so ist noch zu beachten, wie viel Mal diefs während der Winkelmefsung geschehen ist. Bezeichnet demnach x die Gröfse des Winkels, α die Ablesung zu Anfange, a die Ablesung am Ende, ist dabei der Nullpunkt der Theilung vom Index des Verniers m Mal überschritten und n die Zahl der Repetitionen, so ist, aber nur unter der obigen Voraussetzung,

$$x = \frac{m \,.\, 360^0 + a - \alpha}{n}. \qquad [81.]$$

Denselben Ausdruck würde man dann auch für jeden der andern Verniers erhalten.

Es ist daher auch nicht erforderlich, nach jeder einzelnen Mefsung den Stand der Verniers abzulesen, sondern zur Vermeidung eines etwaigen Beobachtungs- oder Rechenfehlers reicht es hin, aus der ersten Mefsung die Gröfse des Winkels zu bemerken. Zur Vermeidung der erwähnten Fehler ist es nicht unzweckmäfsig, den Stand des Verniers 1. nach jeder Mefsung abzulesen und zu notieren.

Bestimmt man nun auf dieselbe Weise den Winkel in der zweiten Lage des Fernrohrs durch eben so oftmalige Repetition, so ist das arithmetische Mittel aus beiden Resultaten auch von den in den §§. 258 — 260. angegebenen Fehlern befreit.

Vergleichung der Repetitionsmethode mit der wiederholt einfachen Winkelmefsung.

§. 269.

Unter der im vorigen Paragraphen gemachten Bedingung, dafs der Anfangspunkt jeder folgenden Mefsung zugleich der Endpunkt der vorhergehenden ist,

wird der Zweck der Repitionsmethode, nicht nur durch öfteres Beobachten die Beobachtungsfehler, sondern auch durch Mefsung an einander gränzender Bogen den Fehler der Theilung und Ablesung so viel Mal zu verkleinern, als man Repetitionen angestellt hat, vollkommen erfüllt, indem die letzteren Fehler nur bei der ersten und letzten Einstellung auf die Winkelobjecte ihren Einflufs ausüben können und daher das gefundene Resultat, bei *n* Repetitionen, nur mit dem *n*ten Theile des Fehlers behaftet sein kann. Bei den, besonders in Bezug auf Theilung und concentrische Bewegung der Achsen noch unvollkommnen älteren Instrumenten des vorigen und im Anfange dieses Jahrhunderts, war deshalb die Anwendung der von Tob. Mayer 1752 erfundenen Repetitionsmethode für die geodätischen Mefsungen ein grofser Gewinn; bei der vollkommnen Theilung aber, die man durch die von Reichenbach eingeführte Kreistheilmaschine den Winkelmefsern jetzt zu geben im Stande ist, verdient nur noch die Verminderung des Fehlers der Ablesung durch die Repetitionsmethode ins Auge gefafst zu werden.

Vergleicht man diese Methode indessen mit der im §. 267. dargestellten Methode der wiederholt einfachen Winkelmefsung, so wird sich sogleich zeigen, dafs die Repetitionsmethode vor der zuletzt genannten entschieden im Nachtheil sich befindet. Denn zunächst mufs berücksichtigt werden, dafs durch den Schwung, der durch die Zurückstellung des Kreises mit der daran geschlofsenen Alhidade von dem rechts liegenden Objecte nach dem links liegenden hervorgebracht wird, der Limbuskreis ein Bestreben zeigen wird, sich in der genannten Richtung gegen die Alhidade zu verstellen, und nur dann von keiner Verstellung die Rede sein kann, wenn die in fast allen Fällen an der Peripherie beider Kreise angebrachte Hemmungsvorrichtung als absolut fest angesehen werden kann, was aber schwerlich behauptet werden darf. Aufserdem wird noch durch das bei jeder neuen Mefsung sich wiederholende Schliefsen des Limbuskreises an die Büchse des Dreifufses, selbst bei der vollkommensten Klemm- oder Druckschraube, leicht eine fehlerhafte Bewegung der Kreisachse in der Dreifufsbüchse entstehen, da zu der groben Bewegung doch immer der nöthige Spielraum zwischen der Achse und Büchse vorhanden sein mufs. Endlich darf auch nicht übersehen werden, dafs bei der mikrometrischen Einstellung auf das links liegende Object die Friction an der Kreisachse sich so lange der Wirkung der Mikrometerschraube widersetzen wird, bis, bei den gewöhnlichen Einrichtungen der Mikrometerwerke wenigstens, eine so grofse Biegung in den Speichen des Kreises entstanden ist, dafs deren Federkraft die Friction überwindet. Es entstehen demnach durch die Repetitionsmethode Quellen constanter Fehler, deren Einflufs sich gar nicht schätzen läfst, welche aber bei dem im §. 267. angegebenen Verfahren nicht vorkommen, da jede folgende, von einem anderen Punkte des Limbus ausgehende Mefsung einen für sich bestehenden, und weder von der vorhergehenden, noch nachfolgenden Mefsung abhängigen Act darstellt. Nur wenn die Theilung des Limbus als eine unvollkommene erkannt ist, wird man durch die Anwendung der Repeti-

tionsmethode rasch die Gränze der Genauigkeit erreichen, welche die constanten Fehlerquellen gestatten, ohne aber darüber hinausgehen zu können, wie irrthümlich von einigen Mechanikern und ausübenden Geometern angenommen wird.

Bei den Verticalkreisen wird das durch den Umschwung des Limbuskreises und des Fernrohrs hervorgebrachte Bestreben der Verstellung des Kreises gegen den Vernierkreis durch die Wirkung der Schwere noch vermehrt, während die anderen constanten Fehler im Allgemeinen die nämlichen bleiben. Es wird daher auch bei der Mefsung der Verticalwinkel durch die Repetitionsmethode, der Methode der wiederholt einfachen Mefsung nachstehen.

9. Mefsung eines Horizontalwinkels mittelst des Theodoliths nach der doppelten oder Borda'schen Repetitionsmethode.

§. 270.

Zur Anwendung dieser Methode ist ein zweites Fernrohr erforderlich, das unterhalb des Horizontalkreises angebracht ist und nicht nur eine von der Drehung des Limbuskreises unabhängige vollständige Umdrehung um die Verticalachsen, sondern auch mittelst eines Mikrometerwerks eine feine Einstellung gegen den Limbuskreis fordert. Dieser Forderung wegen wird das Fernrohr immer eine Excentricität von einigen Zollen gegen die Verticalachse der Alhidade haben. Es ist für die Winkelmefsung deshalb nothwendig, dafs das Fernrohr mit seiner einseitigen Rotationsachse mit Leichtigkeit in ihrem Achsenlager, Statt des Durchschlagens, sich umlegen läfst. Diese Einrichtung zeigt der in Fig. 101. dargestellte Apparat.

Nach der Horizontalstellung des Kreises bringe man den Index des Verniers 1. wieder auf den Nullpunkt der Theilung, wonach also das obere Fernrohr gegen den Limbuskreis fest steht, löse die Hemmung des unteren Fernrohrs, richte das obere Fernrohr durch Umdrehung des Kreises mit der Alhidade auf das links liegende Object P in Fig. 123. (siehe S. 327.), das untere aber auf das rechts liegende Object Q, wodurch also der Limbuskreis an den Dreifufs, das untere Fernrohr aber an den Kreis geschlofsen ist. Nimmt man nun vorläufig an, dafs die Fernröhre keine Excentricität gegen die Verticalachse besäfsen, so würden ihre Visierlinien den Winkel PCQ darstellen. Nun löse man die Hemmung des Limbuskreises, drehe denselben mit den beiden gegen ihn festgestellten Fernröhren so weit nach Links herum, bis das vorhin auf Q eingestellte untere Fernrohr auf P gerichtet erscheint. Dadurch kommt der Nullpunkt, der vorhin in v war, um einen Bogen vv_0 nach Rechts, der, bei der Richtigkeit der obigen Annahme, das Mafs des Winkels PCQ darstellt. Löst man daher nun die Hemmung der Alhidade und stellt das obere Fernrohr auf das rechts liegende Object Q, so beschreibt der Index des Verniers einen Bogen $v_0 v_1$ auf dem feststehenden Limbuskreise, der $= 2 . v_0 v$ sein würde.

Nachdem nun wieder, wie beim Beginn der ersten Mefsung, die Hemmungen

des Kreises und des unteren Fernrohrs gelöst werden, das obere Fernrohr, durch die Drehung des Kreises mit der darangeschlofsenen Alhidade, auf das Object P, das untere aber auf Q gestellt wird, so werden wieder ihre Visierlinien, bei der obigen Annahme, den Winkel PCQ darstellen. Durch das Lösen der Hemmung des Limbuskreises und das Einstellen des unteren Fernrohrs auf das Object P rückt dann der Nullpunkt der Theilung, der jetzt schon um $2 \,.\, v_0 v$ von ihm absteht, um eben diesen Bogen von v_0 nach v_{00}. Wird daher nun durch das Lösen der Hemmung der Alhidade, das obere Fernrohr wieder auf Q gerichtet, so beschreibt der Index des Verniers einen Bogen $v_{00} v_1$ auf dem feststehenden Limbuskreise, der $= 2 \,.\, 2\, v_0 v_1 = 4\, v_0 v_1$ ist u. s. f. Bei jeder folgenden Mefsung rückt also die Alhidade um das Doppelte des zu mefsenden Winkels von dem Nullpunkte weiter fort. Nach der $n$ten Mefsung wird demnach der gesuchte Winkel x, wenn aufserdem der Index des Verniers den Nullpunkt des Limbus m Mal überschritten hat und der von ihm zuletzt abgeschnittene Bogen $= a$ gesetzt wird,

$$x = \frac{m \,.\, 360^0 + a}{2\, n}.$$

§. 271.

Wegen der Excentricität des unteren Fernrohrs bedarf aber der im vorigen Paragraphen angegebene Ausdruck noch einer Correction, indem dabei vorausgesetzt wurde, dafs beide Fernröhre senkrecht über und unter dem Mittelpunkte der Theilung sich bewegten. Um die Gröfse der Correction zu bestimmen, mufs die Gröfse der Drehungen ausgemittelt werden, welchen man den Fernröhren bei jeder der einzelnen Mefsungen ertheilte. Wird angenommen, dafs das untere Fernrohr an der rechten Seite der Verticalachse sich befindet, dafs diese Entfernung $= e$, so wie der Abstand des links und rechts liegenden Objects vom Standpunkte beziehungsweise l und r beträgt, so ist in Fig. 121. (siehe S. 317.) bei der ersten Mefsung CP die erste Lage des oberen Fernrohrs, BQ die des unteren. Da nun bei der zweiten Drehung des Limbuskreises das untere Fernrohr in die Lage EP kommt, so ist die Gröfse seiner Drehung $= PEQ$. Um denselben Winkel wurde indessen das obere Fernrohr zurückgestellt, bei der Drehung der Alhidade aber wieder um PCQ gedreht, also ist der gemachten Ablesung ω ($= v_0 v_1$ in Fig. 123.) $= PEQ + PCQ$.

Da aber $\beta = PEQ + Q = PCQ + P$,

so ist
$$\omega = 2\, PCQ + P - Q,$$
folglich nach §. 260.

$$PCQ = \tfrac{1}{2}\, \omega - \frac{e}{2} \left(\frac{1}{l} - \frac{1}{r}\right) 206265,$$

mithin der Werth des Fehlers

$$- 206265\, \frac{e}{2} \left(\frac{1}{l} - \frac{1}{r}\right) \text{Sekunden.} \qquad [82.]$$

Ebenso würde nun die Correction für die etwaige Excentricität des oberen Fernrohrs, wenn dasselbe ebenfalls rechts von dem Mittelpunkte der Theilung in dem Abstande e_1 gedacht wird, nach §. 260. betragen

$$- 206265\ e_1 \left(\frac{1}{l} - \frac{1}{r}\right) \text{ Sekunden.}$$

Legt man also beide Fernröhre in ihren Lagern um, so dafs das Ocular dahin kommt, wo früher das Objectiv war, ohne aber bei dem oberen Fernrohr die Enden der Achse zu verwechseln, dreht auch die Alhidade um 180° und bestimmt den Winkel PCQ durch eine ebenso oftmalige Repetition, so ist das arithmetische Mittel aus beiden Resultaten nicht allein frei von den Fehlern wegen der Excentricität der Fernröhre, sondern auch noch von in den §§. 258. und 259. erwähnten Fehlern.

§. 272.

Dafs aber bei der doppelten Repetitionsmethode die nach §. 269. durch die einfache Repetitionsmethode entstehenden constanten Fehler noch durch die Bewegungen des unteren Fernrohrs, so wie durch dessen Hemmung und feine Einstellung vermehrt werden, also das erhaltene Resultat der Winkelmefsung um so weniger auf Zuverläfsigkeit Anspruch machen darf, bedarf keiner weiteren Begründung. Man hat deshalb auch längst schon von dieser Methode in der Praxis keinen ernsthaften Gebrauch mehr gemacht.

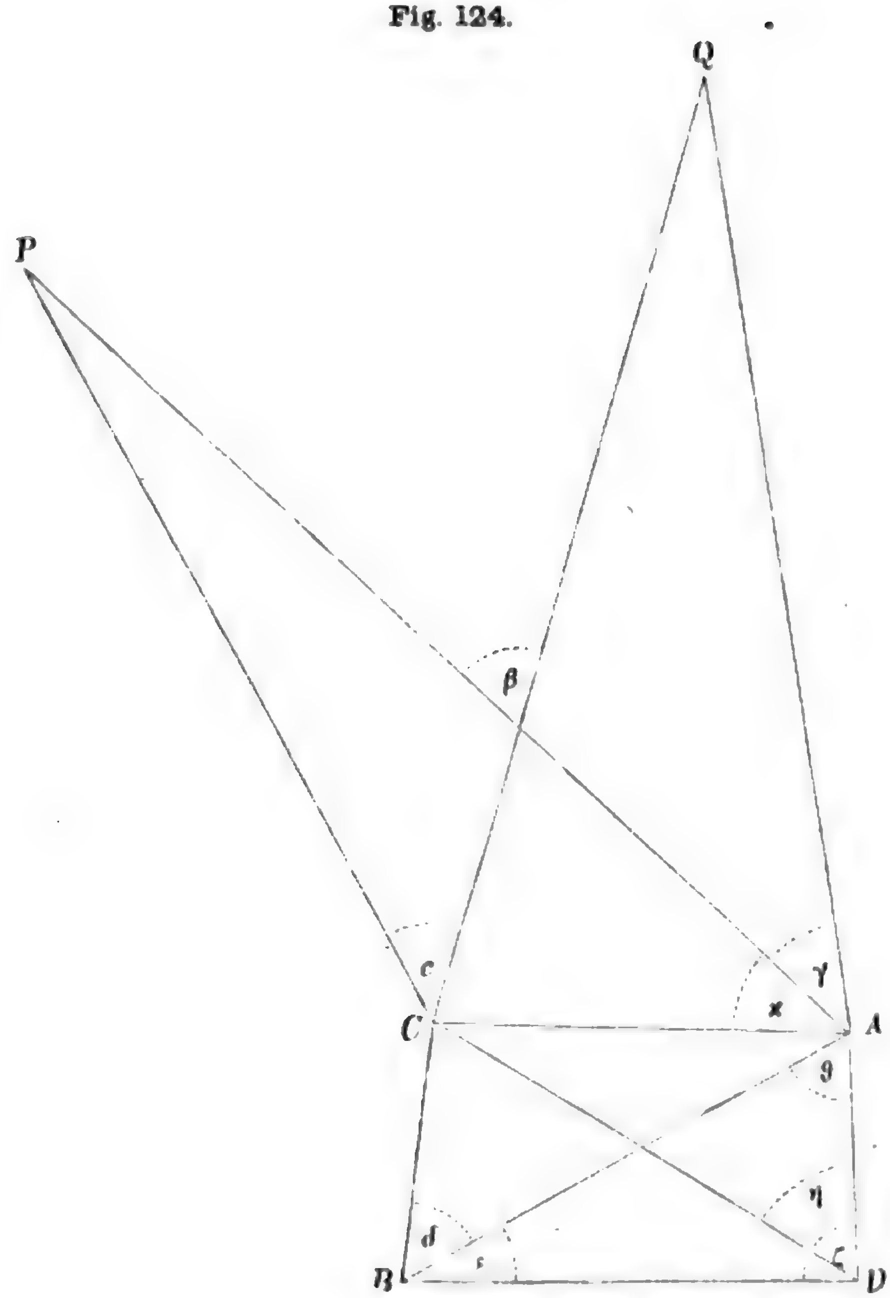
10. Das Centrieren der Horizontalwinkel.

§. 273.

Nicht selten, insbesondere bei gröfseren Vermefsungen, ist es wegen der Beschaffenheit der Signale nicht gestattet, das Azimuthalinstrument in dem Scheitelpunkte des zu mefsenden Winkels aufzustellen, sondern mufs in einem bestimmten Abstande von demselben den Standpunkt nehmen. Ist dieser z. B. A in Fig. 124., so ist einleuchtend, dafs nur dann der daselbst gemefsene Winkel PAQ dem Winkel PCQ gleich sein wird, wenn die vier Punkte C, A, P und Q in der Peripherie eines Kreises liegen. In jedem anderen Falle mufs aus dem gemefsenen Winkel PAQ, aus dem Abstande $CA = a$ und aus dem Winkel QAC oder PAC der Winkel PCQ berechnet werden, welches man das Centrieren des Winkels PAQ oder die Reduction des gemefsenen Winkels auf das Centrum der Station nennt. Man wird von diesem Verfahren auch dann gern Gebrauch machen, wenn die im §. 263. beschriebene Aufstellung (Centrierung) des Instruments zwar möglich, aber doch schwierig ist, um mit der möglichsten Unbefangenheit und Ruhe die Mefsung ausführen zu können.

Setzt man die Abstände CP und CQ des Punktes C von den Winkelobjecten beziehungsweise $= l$ und r, so ist

Fig. 124.



$$\sin P = \frac{a \sin \alpha}{l}, \quad \sin Q = \frac{a \sin (\alpha + \gamma)}{r},$$

oder, da in Bezug auf die Längen l und r die Winkel P und Q nur sehr klein sind, in Sekunden

$$P = 206265 \frac{a}{l} \sin \alpha,$$

$$Q = 206265 \frac{a}{r} \sin (\alpha + \gamma).$$

Da nun $\beta = P + c = Q + \gamma$ oder

$c = \gamma + Q - P$ ist, so erhält man

$$c = \gamma + 206265 \frac{a}{r} \sin (\alpha + \gamma) - 206265 \frac{a}{l} \sin \alpha \text{ Sekunden}, \qquad [83.]$$

ein Ausdruck, der allgemeine Gültigkeit hat und nur noch nach der Lage des Standpunktes A gegen den Scheitelpunkt C Modificationen erleidet. Liegt nämlich A zwischen den Schenkeln CP und CQ oder zwischen den rückwärts gezogenen Verlängerungen derselben, so ist beziehungsweise

$$c = \gamma \mp Q \mp P;$$

liegt er in dem einen Schenkel CP des Winkels oder in seiner rückwärts gezogenen Verlängerung, so ist wieder beziehungsweise

$$c = \gamma \mp Q.$$

Kann die unmittelbare Mefsung der Linie CA nicht ausgeführt werden, wenn z. B. C eine Thurmspitze bezeichnet, so wählt man eine andere BD, deren Mefsung möglich ist und setzt auf sie zwei Dreiecke BDC und BDA, deren Spitzen in C und A liegen. Mifst man nun in diesen z. B. die Winkel δ, ε, ζ, η und ϑ, so läfst sich aus ihnen und der Standlinie $BD = a_1$ mit genügender Sicherheit der Abstand $CA = a$ berechnen.

II. Die für terrestrische Winkelmefsungen geeignete Tageszeit.

§. 274.

Wenn die Sonnenstrahlen an der Erdoberfläche auf undurchsichtige, die Wärme nicht durchlafsende Substanzen stofsen, dadurch also in ihrer Bewegung gehemmt und zu einer fortgeleiteten, freien Wärme werden, so theilt sich diese den unteren, in unmittelbarer Berührung stehenden Schichten der Atmosphäre mit. Da nun die Luft dadurch ausgedehnt und leichter wird, so wird sie nach aërostatischen Gesetzen in die Höhe steigen und von einer anderen herabsinkenden, kälteren Luftschicht ersetzt, welche bald dieselbe Veränderung erleidet. Es wird dadurch also ein bestimmter Luftzug von Unten nach Oben unterhalten werden, durch welchen die durch das Fernrohr betrachteten Objecte scheinbar bewegt werden und eine Unsicherheit, ja selbst oft eine Unmöglichkeit im Visieren abgeben. Diese Erscheinung beginnt meistens schon am Morgen und sogleich nach Sonnenaufgang; obgleich sie allmälig abnimmt und dabei dann auch wohl eine ausnehmende Durchsichtigkeit der Luft wahrzunehmen ist, so zeigt sich doch selten oder nur auf kurze Dauer eine zum genauen Beobachten erforderliche Ruhe der Bilder; am Mittage zeigt sich die Erscheinung aber am stärksten, selbst bei bedecktem Himmel, so dafs demnach die Vormittage zu den Horizontalwinkelmefsungen am ungeeignetsten erscheinen. Am Nachmittage dagegen, wo in den verschiedenen, die Erdoberfläche zunächst umgebenden Luftschichten mehr ein Gleichgewicht eingetreten ist, zeigt sich nach den Erfahrungen von Struve*) in etwa 0,6 der Zeit von der Culmination der Sonne bis zu ihrem Untergange der Anfang der Ruhe der Bilder, die alsdann auch von da an etwa 2¼ Stunde

*) Beschreibung der Breitengradmefsung in den Ostseeprovinzen Rufslands u. s. w. von F. G. W. Struve. Dorpat 1831. I. Theil, S. 87.

anhält, weshalb also diese Zeit als die zum Mefsen der Horizontalwinkel geeignetste angesehen werden mufs. (Ueber die zum Mefsen der Verticalwinkel anzuwendende Zeit vergl. m. §. 228.)

12. Mefsung eines Horizontalwinkels zwischen einem Gestirne und einem terrestrischen Gegenstande.

§. 275.

Die Mefsung eines Horizontalwinkels zwischen einem Gestirne und einem terrestrischen Objecte fordert bei der Anwendung der für die Horizontalwinkelmefsung zwischen terrestrischen Objecten aufgestellten Regeln nur noch die Angabe der bei der Einstellung auf das Gestirn vorhandenen Zeit. Bei der Sonne wird entweder jeder der Ränder als Richtobject genommen, woraus dann die Richtung für den Mittelpunkt der Sonne sich von selbst ergiebt, oder man nimmt nur den östlichen oder westlichen Rand derselben und setzt dann demselben den aus den Ephemeriden zu entnehmenden Werth für den Winkelhalbmefser, beziehungsweise mit dem $+$ oder $-$ Zeichen hinzu. Wegen der verschiedenen Höhe der Sonne ist aber der Angabe des Verniers am Horizontalkreise noch der Werth für $\pm \frac{r \odot}{\sin z}$ beziehungsweise für den östlichen oder westlichen Rand hinzuzufügen, wenn $r \odot$ den Winkelhalbmefser der Sonne und z die Zenithdistanz ihres Mittelpunkts bezeichnet. Bei der Beobachtung eines Fixsterns hat man in dem Momente, in welchem er an den Durchschnittspunkt des Horizontalfadens mit dem Verticalfaden oder mit der Mitte beider Verticalfäden tritt, die Zeit abzulesen, worüber §. 183. zu vergleichen ist. Ist weder die Horizontalrotationsachse genau horizontal, noch der Collimationsfehler des Fernrohrs genau berichtigt, so sind beide Fehler i und c zu bestimmen (§§. 176. und 177.) und dann, wenn z die Zenithdistanz des Gestirns bezeichnet, an die Vernierablesungen der Werth

$$\pm i \operatorname{cotg} z \pm c \operatorname{cosec.} z$$

nach den Formeln [76] und [78] der §§. 255. und 256. anzubringen.

13. Bestimmung des Indexfehlers des Höhenkreises am Theodolith und Mefsung der Höhen- und Tiefenwinkel.

§. 276.

Wie schon die Ueberschrift sagt, soll hier nur von den mit Höhenkreisen versehenen Theodolithen die Rede sein, die zur Mefsung des Details angewandt werden und deren Höhenkreis nur zur Bestimmung der Elevations- und Depressionswinkel dienen soll, um die in geneigten Ebenen liegenden Stationslinien auf den Horizont reducieren zu können. Wie bei den gröfseren und astronomischen Theodolithen und Universalinstrumenten ist der Höhenkreis auch an der Rotationsachse des Fernrohrs, die Verniers, wenn deren zwei vorhanden sind, an der einen Stütze desselben befestigt. Häufig findet sich auch nur ein Vernier, ebenfalls an

der einen Stütze angebracht. Der Kreis ist von dem Nullpunkte aus nach entgegengesetzten Richtungen in zwei Mal 180 Grade, auch wohl in vier Mal 90 Grade getheilt. Da nun die Ablesung der Verticalwinkel bei dem Nullpunkte beginnt, so soll eigentlich bei der horizontalen Lage des Fernrohrs der Index des Verniers auf den Nullpunkt der Theilung treffen. Zeigt sich eine Differenz, so wird dieselbe der Indexfehler des Höhenkreises genannt. Könnte man denselben durch das Instrument selbst auf ähnliche Weise, wie es die Spiegelwerkzeuge gestatten, bestimmen, oder dem Fernrohr, wie bei den Nivellierwerkzeugen, eine horizontale Lage geben, so würde man den Indexfehler vor jeder Mefsung ablesen und dann in Rechnung bringen können. Man beurtheilt aber, umgekehrt, die Lage der Visierlinie erst aus der Coincidenz des Nullpunktes mit dem Indexstriche. Aus diesem Grunde mufs die Gröfse des Indexfehlers ermittelt werden, um ihn bei der Bestimmung der Höhen- und Tiefenwinkel seinem Vorzeichen nach in Rechnung bringen zu können.

§. 277.

Da der eine Sector oder Halbkreis des Höhenkreises vom Nullpunkte an für die Elevations-, der andere für die Depressionswinkel dient, so folgt, dafs wenn man bei richtiger Eintheilung der Bogen, die Visierlinie des Fernrohrs unter einem bestimmten Winkel über den Horizont erhebt und darauf dieselbe unter dem nämlichen Winkel unter ihn senkt, die absolute Gröfse des Indexfehlers dieselbe sein und nur das eine Mal subtractiv werden mufs, wenn sie das andere Mal additiv war.

Bestimmt man daher in dem einen Endpunkte einer gegen den Horizont geneigten Linie den Elevationswinkel a, in dem anderen den Depressionswinkel a_1, so ist ein Indexfehler i vorhanden, wenn beide von einander verschieden sind. Ist nun $a > a_1$ und v der wahre Verticalwinkel, so ist

$$a = v + i \text{ und } a_1 = v - i,$$

folglich $$i = \tfrac{1}{2}(a - a_1), \qquad [84.]$$

welcher Werth daher für alle Elevationswinkel subtractiv, für alle Depressionswinkel additiv zu nehmen ist.

Es folgt leicht, dafs i nur dann mit Genauigkeit bestimmt werden kann, wenn die beiden Visierlinien bei dem Mefsen der Verticalwinkel parallel sind. Indessen reicht zu dem im vorigen Paragraphen angegebenen Zweck das angegebene Verfahren vollkommen aus. Mit gröfserer Genauigkeit erhält man den Werth für i, wenn man zwei mit Fadenkreuzen versehene Hülfsfernröhre mit ihren Objectiven so einander gegenüberstellt, dafs ihre Visierlinien eine Gerade bilden. Bringt man dann das Fernrohr des Theodoliths zwischen beide Hülfsfernröhre, richtet seine Visierlinie auf das Fadenkreuz des einen Hülfsfernrohrs, so erhält man am Vernier den Winkel a oder a_1 und, wenn man das Fernrohr des Theodoliths durchschlägt, oder die Alhidade um 180° dreht und auf das Fadenkreuz des

zweiten Hülfsfernrohrs richtet, beziehungsweise den Winkel a oder a_1 mit größerer Sicherheit.

In Ermangelung zweier Hülfsfernröhre kann man auch nur eins anwenden, für das andere aber ein deutlich markiertes Object benutzen, auf welches dann zuerst das Fernrohr des Theodoliths, der selbstverständlich zwischen dem Hülfsfernrohr und dem Objecte aufgestellt ist, gerichtet wird, wodurch dann der eine der Verticalwinkel a oder a_1 sich bestimmen läfst. Den zweiten erhält man dann wie vorhin angegeben wurde.

Oder man richte das Fernrohr des Theodoliths auf ein hoch gelegenes, deutlich markiertes Object und bringe zwischen beide einen Quecksilberhorizont in eine solche Lage, dafs darin vom Theodolith aus das reflectierte Bild des Objects wahrgenommen werden kann. Liest man dann beim Einstellen des Theodolithenfernrohrs auf das Object und auf das Bild desselben die Winkel a und a_1 ab, so erhält man den Indexfehler wieder auf die vorhin angegebene Weise.

§. 278.

Zuweilen ist der Höhenkreis mit einer Büchse verbunden, die auf den verlängerten Zapfen der Rotationsachse geschoben und durch eine Druckschraube festgestellt wird. Durch Lösung der letzteren kann daher durch Verschiebung des Kreises der gefundene Indexfehler wenigstens annähernd berichtigt werden, so dafs dann nur noch ein kleiner Ueberschufs in Rechnung zu bringen ist. Dafselbe kann auch meistens durch Verschiebung der Vernierplatte geschehen, wenn dieselbe zwischen Schraubenspitzen befestigt ist.

Hat der Verticalkreis des Theodoliths eine von 0^0 bis 360^0 fortlaufende Bezeichnung der Eintheilung, so ergiebt sich die Lage des Zenithpunktes, und dadurch auch die des Horizontalpunktes, folglich auch der etwa vorhandene Indexfehler nach [64] im §. 207. (Vgl. auch §. 225.) Andere Methoden der Bestimmung desselben für den letzteren Fall finden sich u. a. in Ulrich's Lehrbuch der praktischen Geometrie. Göttingen 1832. I. 205. u. f., indessen reicht das vorliegende Verfahren für die Praxis vollkommen aus.

Die Sichtbarmachung der terrestrischen Richtobjecte für Winkelmefsungen.

§. 279.

Die zu Winkelmefsungen dienenden Richtobjecte sind entweder in natürlichen Gegenständen gegebene, wohin z. B. Thurmspitzen, hohe Schornsteine, Wetterfahnen und Schornsteine auf Gebäuden u. dergl. gehören, oder künstlich zu bildende, welche aber wieder, je nachdem sie zu gröfseren oder kleineren Mefsungen auf der Erdoberfläche, oder bei den unterirdischen Mefsungen des Markscheiders gebraucht werden sollen, sehr verschiedener Art sind.

1. Die künstlichen Signale von Holz.

§. 280.

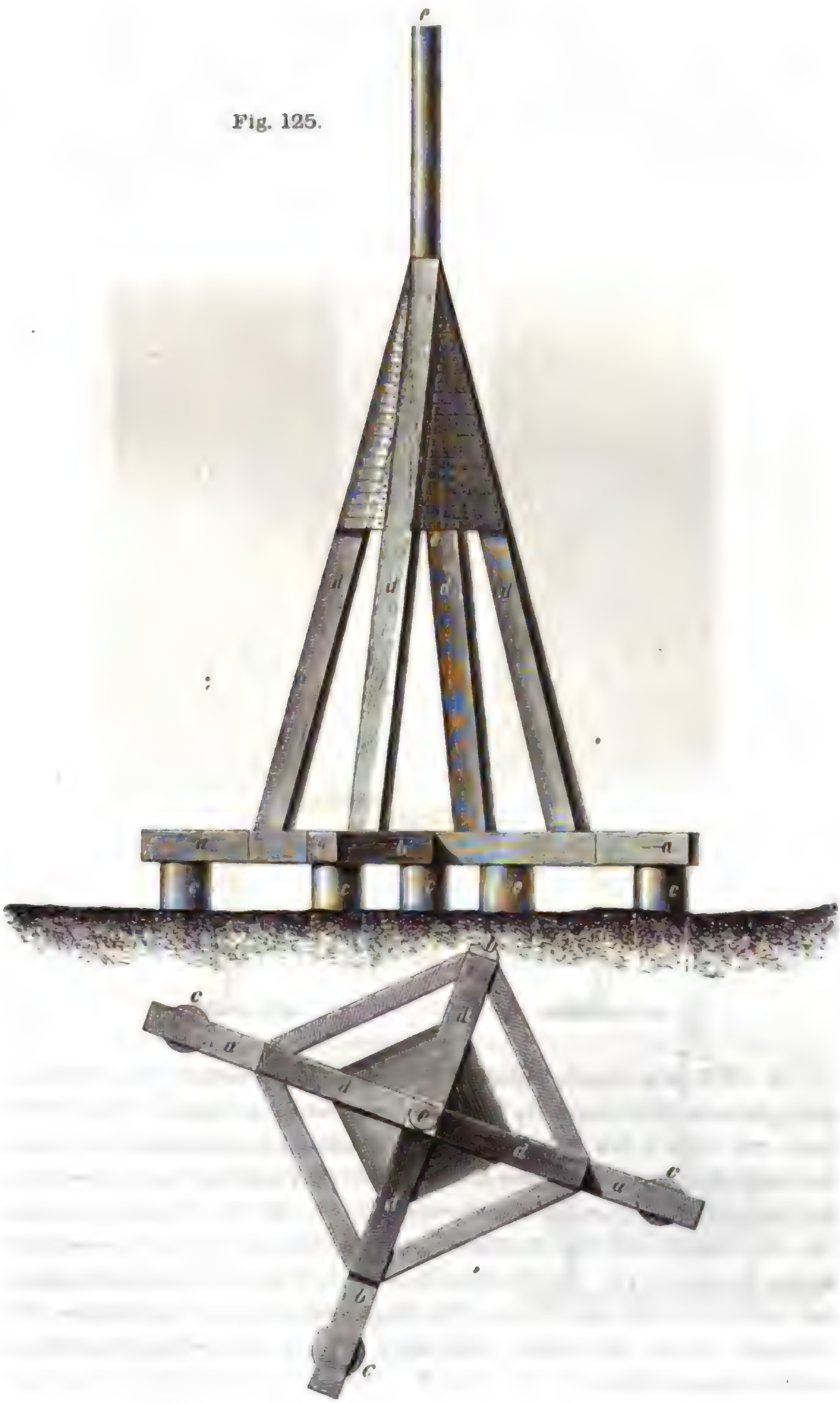
Ein künstliches Signal, wie es bei der Breitengradmefsung in den Ostseeprovinzen Rufslands von Struve auf den Dreieckspunkten derselben vielfach angewandt wurde, ist in Fig. 125. dargestellt. Die aus zwei starken Balken *aa* und *bb* und Querriegeln bestehende Kreuzschwelle ruht auf fünf ebenfalls hinreichend starken, in die Erde gerammten Pfosten *ccc* . . . Vier Balken *dd* . . ., welche sich auf die Schwelle stützen, tragen den senkrecht stehenden Visierbalken *ee*, der für die verschiedenen Distanzen einen Durchmefser von 8 bis 12 Zoll hat. Die Achse des Oben etwa 7 Fufs langen cylindrischen Theils desselben ist die Linie, welche bei den Horizontalmefsungen als Richtlinie dient. Die vier Streben des Visierbalkens sind in etwa 9 Fufs Höhe abwärts mit Brettern gedeckt und bilden daher eine abgestumpfte Pyramide, deren halbe Höhe bei den Verticalwinkeln als Richtobject dient. Aufserdem ist das ganze Signal mit Oelfarbe schwarz angestrichen, wodurch sich insbesondere der cylindrische Visierbalken deutlich auf dem hinterliegenden Himmel projiciert. Für die verschiedenen Entfernungen schwankt die Höhe des unteren Endes des Visierbalkens über der Erdoberfläche zwischen 15 und 30 Fufs. Auf der Mitte der Kreuzschwelle wird dann noch durch ein seitwärts aufgestelltes Theodolithenfernrohr die Horizontalprojection der senkrechten Achse des Visierbalkens bestimmt, um deren Abstand von dem excentrisch liegenden Stationspunkte mit Genauigkeit mefsen zu können.

§. 281.

1. Zur Signalisierung der weniger entfernten Punkte dient ein senkrecht aufgerichteter Baumstamm von 20 bis 30 Fufs Höhe, der, so wie auch seine seitlich angebrachten Streben in dem Boden befestigt ist. Sein oberes Ende trägt einen etwas stärkeren, schwarz angestrichenen Cylinder, dessen verticale Achse zum Einvisieren der Winkelrichtungen dient. Da diefs Signal ebenfalls, wie das des vorigen Paragraphen, nur einen excentrisch liegenden Stationspunkt gestattet, so sucht man die centrische Aufstellung dadurch zu erreichen, dafs man, wenn zugleich eine geringere Höhe des Signals gestattet ist, dem senkrechten Stamme nur die hinreichend starken Streben zur Unterstützung giebt, ihn dann in einer Höhe von 7 bis 8 Fufs vom Erdboden abschneidet und zur Unterlage des Theodoliths das untere etwa $3^1/_4$ Fufs über dem Boden hervorragende Ende des Stammes nimmt, auf dessen Oberfläche die Achse des oberen Endes wieder projiciert wird.

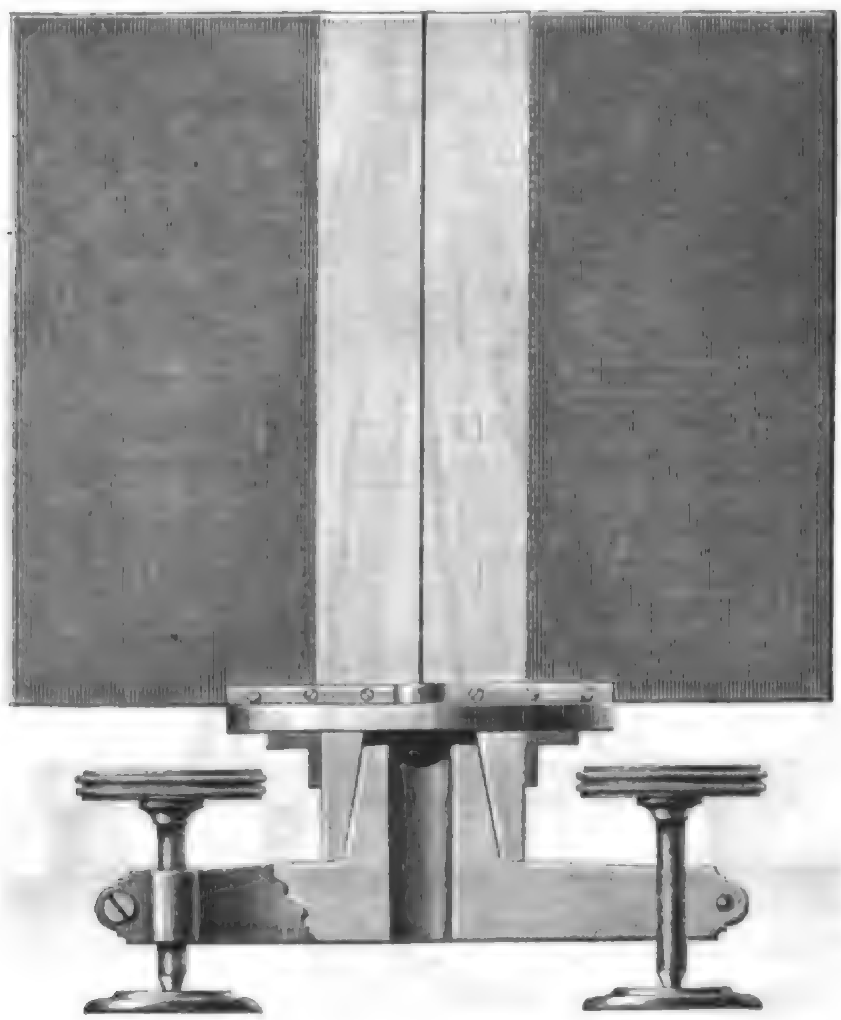
2. Wenn die Objecte sich auf dem Himmel projicieren, so wendet man auch quadratische Tafeln von Holz von etwa 2 Fufs Seite an, die auf einem mit Stellschrauben versehenen Dreifufs von Eisen oder Holz angebracht sind und um die ausgebohrte Büchse desselben gedreht werden können. Sie sind schwarz angestrichen bis auf einen in ihrer Mitte angebrachten weifsen Streifen von 5 bis

Fig. 125.



8 Zoll Breite. Eine schwarze Linie in demselben, welche genau durch die Achse der Dreifufsbüchse geht, dient zum Einstellen des Signals auf dem Dreieckspunkt. Durch Gewichte, welche man auf die breiten Arme des Dreifufses stellt, giebt man den Signalen eine feste Stellung. Durch Fig. 126. wird diefs Signal dargestellt, welches bei den Gradmefsungen in den Ostseeprovinzen Rufslands und in Ostpreufsen, so wie bei der preufsischen Küstenvermefsung vielfach angewandt ist.

Fig. 126.



3. Will man einzeln stehende Gebäude ohne anwendbare Schornsteine als untergeordnete Dreieckspunkte benutzen, so können zu Signalen 10 bis 20 Fufs lange und 4 bis 6 Zoll dicke cylindrische Stämme benutzt werden, die man an den Kehlbalken des Giebels oder der Fette der First befestigt und in dieser Lage die Horizontalprojection ihrer senkrechten Achse auf dem Erdboden gestatten. Das obere Ende trägt eine Blechkappe *a* in Fig. 127. mit zwei sich normal kreuzenden Blechtafeln *b b*. Der Stamm ist nach seiner Höhe abwechselnd mit schwarzer und weifser Oelfarbe angestrichen; die Blechtafeln haben an den Rändern einen schwarzen, in der Mitte aber einen etwa 6 bis 8 Zoll weifsen Anstrich, den auch die Kappe führt.

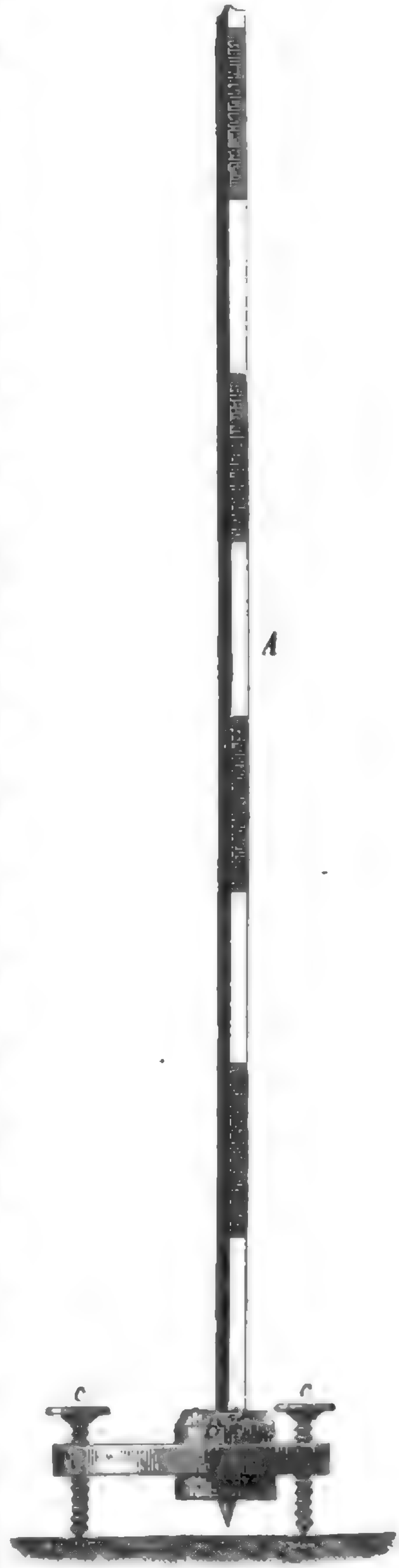
Fig. 127.



§. 282.

Für die kleinsten Detailaufnahmen wendet man zu Signalen die sogen. Flucht- oder Absteckstäbe, Baken an, cylindrische Stäbe, am zweckmäfsigsten junge gezogene Eschen, von 8 bis 10 Fufs Höhe und etwa $1\frac{1}{2}$ Zoll Dicke, zu den Winkel- oder Dreieckspunkten aber starke eichene oder buchene Pfähle mit quadratischer Oberfläche und 2 bis 3 Zoll Seite und 1 bis $1\frac{1}{2}$ Fufs Höhe. Bei den letzteren ist der Winkelpunkt auf ihrer Oberfläche durch den Durchschnitt eines eingerifsenen Kreuzes bezeichnet. Zum befseren Erkennen in der Ferne werden die Baken ihrer Länge nach abwechselnd mit schwarzer (oder rother) und weifser Oelfarbe angestrichen und zur leichteren Auffindung in gröfserer Distanz mit einem kleinen Fähnchen versehen, das aus rothem und weifsem wollenen Zeuge verfertigt ist und an einem Stiele in dem oberen Ende der Bake befestigt werden kann. Durch einen am unteren Ende befindlichen konischen Schuh von Eisen können sie dicht an dem Dreieckspfahle in dem Erdboden senkrecht befestigt werden.

Fig. 128.



Auf hartem oder felsigem Boden und besonders auf gepflasterten Strafsen eignet sich zweckmäfsiger das in Fig. 128. dargestellte Signal. Ein parallelepipedischer Stab *A* von 12 bis 20 Fufs Höhe ist in einem starken cylindrischen Fufs *B* befestigt und endigt unter letzterem in eine konische Spitze. Durch drei Holzschrauben *CC*, die durch drei von dem Cylinder auslaufende Arme hindurchgehen,

kann der Stab mittelst eines an seiner einen Seitenfläche angebrachten Lothes lothrecht und zugleich die Spitze normal über den Dreieckspfahl gestellt werden. Damit der Stab auf einem verschiedenen Hintergrunde sich immer deutlich projiciert, ist die eine der Seitenebenen weifs, eine zweite schwarz und die beiden anderen abwechselnd weifs und schwarz mit Oelfarbe angestrichen.

2. Die Heliotrope *).

§. 283.

Abgesehen von den Schwierigkeiten, mit welchen die Erbauung gröfserer Signale meistens verbunden ist, können sie theils wegen der ungleichen Beleuchtung, theils bei getrübter Heiterkeit der unteren Luftschichten nicht als so präcise bestimmte Punkte gelten, wie es die jetzige Vollkommenheit der geometrischen Mefswerkzeuge fordert. Demselben Uebelstande sind auch die Spitzen der Thürme ausgesetzt. Selbst bei den hin und wieder angewandten Signalen durch Lampen mit parabolischen Hohlspiegeln bei Nacht, war der dadurch erreichte Vortheil verhältnifsmäfsig nur gering, da ihre Beobachtung durch Zufall leicht vereitelt werden kann und sie auch nur in geringeren Entfernungen deutlich wahrgenommen werden können. Deshalb war es besonders für die gröfseren Mefsungen wichtig, durch den von Gaufs im Jahre 1821 bei der Gradmefsung im Königreich Hannover erfundenen Heliotrop ein Mittel zu besitzen, das reflectierte Sonnenlicht als Signal anwenden und dem entfernten Beobachter zuwerfen zu können.

1. Der Gaufs'sche Heliotrop.

§. 284.

Die Construction und der Gebrauch des Gaufs'schen Heliotropen stützt sich auf den katoptrischen Satz, dafs wenn von einem unendlich entfernten leuchtenden Punkte Lichtstrahlen auf zwei, auf einander normal stehende Spiegel fallen, die Lichtstrahlen dann nach entgegengesetzten Richtungen von den Spiegeln reflectiert werden. Denn ist in Fig. 129. SA ein auf den Spiegel MN fallender Lichtstrahl, so ist, wenn $\alpha = \beta$ ist, AB der für MN reflectierte Strahl. Eben so ist bei demselben Einfallstrahle SA für den Spiegel PQ, AC der reflectierte Strahl, wenn $\gamma = \delta$ ist. Es ist daher auch

$$\alpha + \gamma = \beta + \delta = 90^0,$$

folglich

$$\alpha + \beta + \gamma + \delta = 180^0,$$

d. h. AB und AC liegen in einer geraden Linie.

In Fig. 130. ist ein von Apel in Göttingen verfertigter Gaufs'scher Heliotrop im Drittel der natürlichen Gröfse in der Seitenansicht, in Fig. 131. das Spiegelsystem mit einem Theile des Objectivrohrs im Grundrifs dargestellt. Die Grundlage

*) Von ἥλιος, die Sonne und τρέπω, ich wende.

Fig. 129.

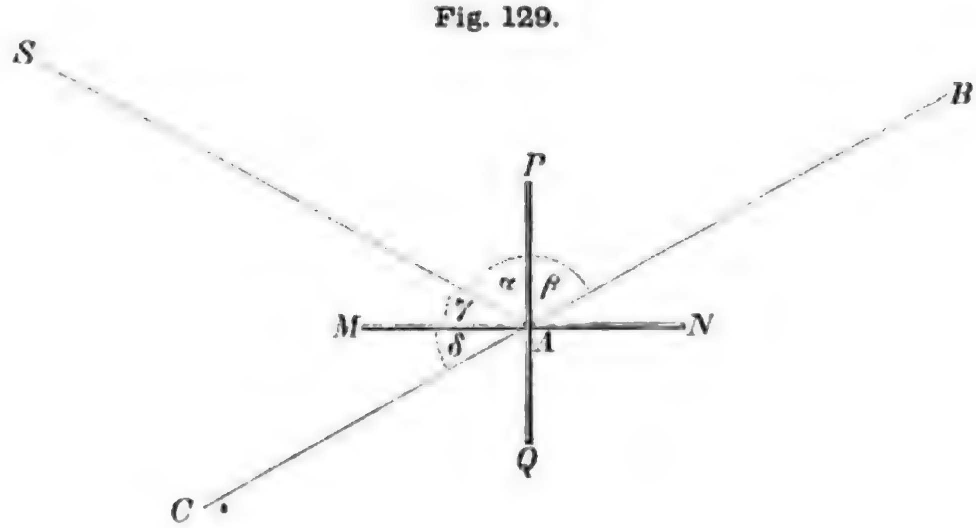


Fig. 130.

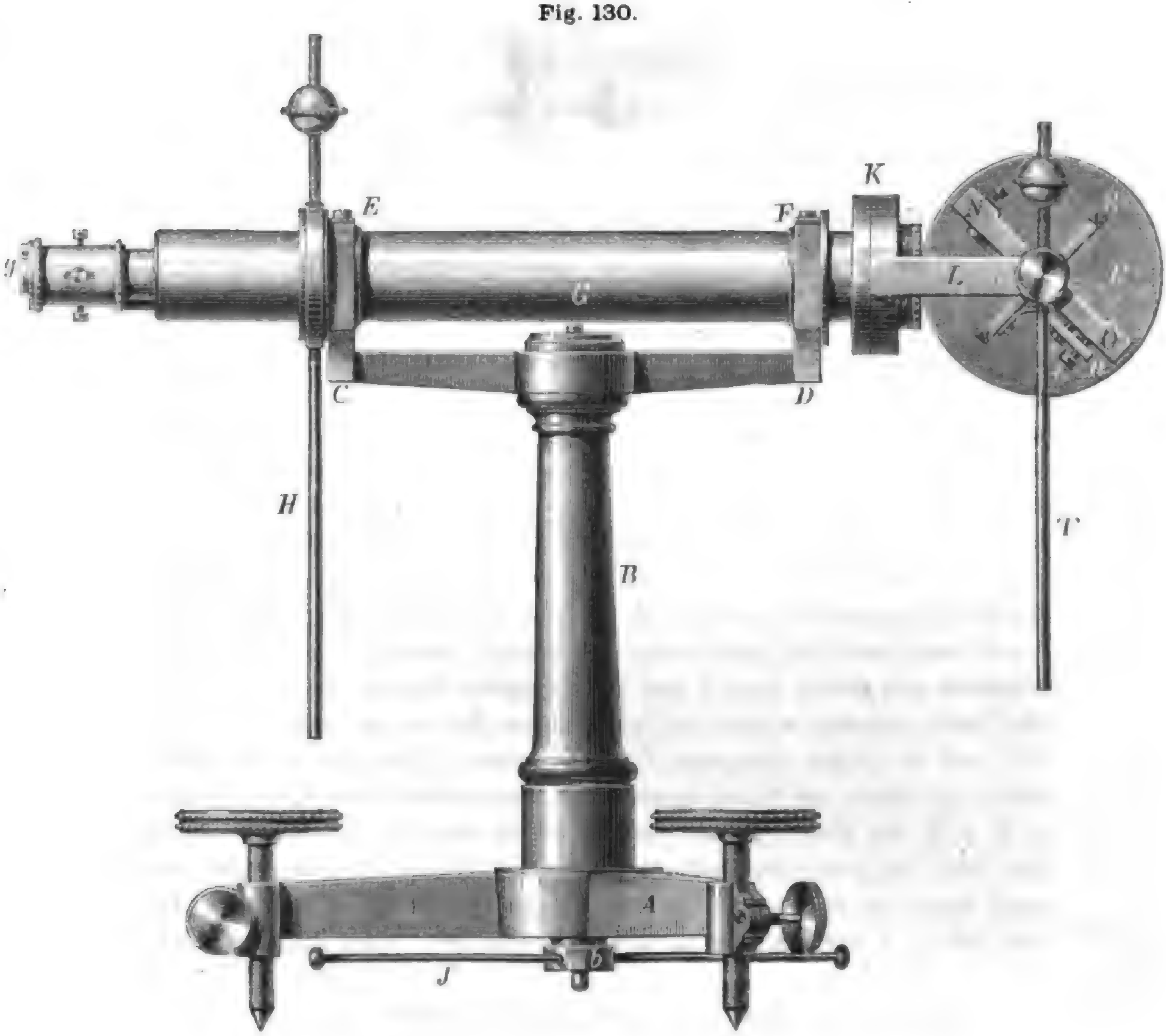
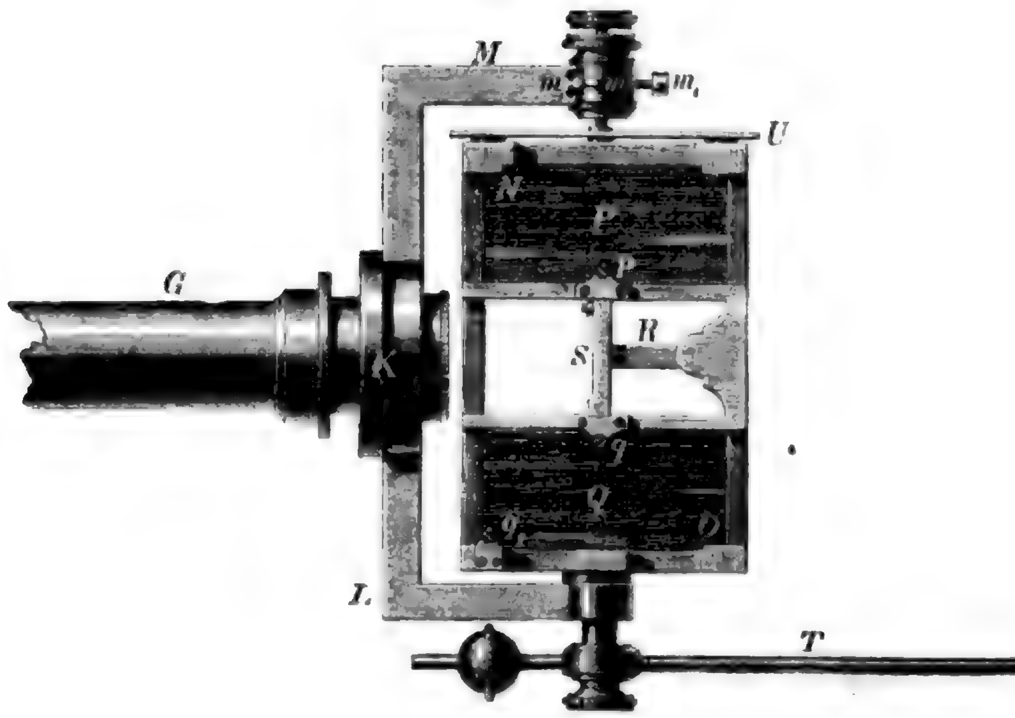


Fig. 131.



des Instruments bildet der mit Stellschrauben versehene Dreifufs *A A* mit der durchbohrten Säule *B* *). In letzterer findet sich ein Stahlzapfen, mit dessen oberem Ende der massive Träger *CDEF* für das mit zwei glockenmetallenen Ringen versehene Fernrohr *G* verbunden ist. Durch zwei Deckel, welche sich auf die Ringe legen, wird das Fernrohr in seinen Lagern festgehalten, kann aber durch den Führungsstift *H* um seine Achse gedreht werden. Der Stahlzapfen trägt an seinem unteren Ende, unter dem Dreifufs, einen mit einem Führungsstift *J* versehenen Cylinder *b*, durch dessen Umdrehung mittelst des Führungsstifts dem Träger mit dem Fernrohr eine Horizontalbewegung ertheilt werden kann. Durch die erwähnten Drehungen und die Umdrehung der Stellschrauben kann man daher das Fadenkreuz des Fernrohrs auf den Punkt richten, welchem das Sonnenbild zugeworfen werden soll. An dem Objectivende des Fernrohrs sitzt ein in zwei Arme sich erweiternder cylindrischer Ansatz *K*, an dessen Armen wiederum zwei andere Arme *L* und *M* in normaler Richtung gegen die ersteren sich finden, zwischen welchen der Spiegelrahmen *NO* um eine Achse sich drehen läfst und die beiden Planspiegel *P* und *Q* enthält. Diese sind an der Hinterfläche mit Platten und Federn verwahrt und können durch kleine Stellschräubchen p, q, q_1 in eine Ebene gebracht werden. Durch diese Spiegel soll das Sonnenlicht nach dem entfernten Beobachter reflectiert werden. Rechtwinklicht gegen diese Spiegel ist der aus dunklem oder mattgeschliffenem Glase bestehende kleinere Spiegel *S* befestigt, der an seiner hinteren Seite einen Arm *R* mit zwei

*) Bei den ältesten Constructionen war die Säule nicht durchbohrt.

Correctionsschräubchen s und s_1 enthält, durch welche derselbe rechtwinklicht gegen P und Q gestellt werden kann. Durch diesen Spiegel wird dem am Heliotrop stehenden Beobachter das Sonnenbild zugeworfen. Zur Drehung des Spiegelrahmens um seine Achse dient der Führungsstift T. Um einen etwa vorhandenen Fehler in der Lage der Drehungsachse der Spiegel gegen die Collimationslinie des Fernrohrs verbefsern zu können, liegt das eine Ende der ersteren Drehungsachse in der Büchse m des Armes M, durch welche drei Stellschräubchen (von denen aber in der Figur nur zwei sichtbar sind) $m_1 m_1$ gegen die erwähnte Drehachse treten. Endlich bezeichnet U eine an dem Spiegelrahmen befestigte flache Scheibe zur richtigen Stellung des Spiegelsystems.

Die Berichtigung des Gaufs'schen Heliotropen und sein Gebrauch.

§. 285.

Die Prüfung besteht, was darüber der Erfinder des Werkzeugs in Schumacher's astronomischen Nachrichten V. 329. angegeben hat, in folgenden fünf Untersuchungen, die so, wie sie hier folgen, nach einander vorgenommen werden müfsen.

1. Die Collimationslinie des Fernrohrs mufs mit seiner Umdrehungsachse zusammenfallen.

Nachdem man nach §. 48. das Fadenkreuz an die richtige Stelle in der Ocularröhre gebracht, auch das Spiegelsystem so gedreht hat, dafs der kleine Spiegel S in der Verlängerung der Umdrehungsachse des Fernrohrs liegt, richtet man das Fadenkreuz auf ein deutlich markiertes Object und dreht das Fernrohr in seinen Lagern um 180°. Trifft dann das Bild des Objects mit dem Kreuzungspunkt zusammen, so fallen die erwähnten Linien in eine Gerade. Bei einer Abweichung aber wird die Hälfte derselben an den Stellschräubchen des Fadenkreuzes verbefsert und das Verfahren so lange wiederholt, bis keine Abweichung mehr sich zeigt.

2. Die Collimationslinie des Fernrohrs mufs gegen die Umdrehungsachse des Spiegelrahmens normal stehen.

Man stelle die Umdrehungsachse so nach dem Augenmafse senkrecht, dafs zugleich der Führungsstift T nach Unten gerichtet und mit der Drehachse oder der Collimationslinie des Fernrohrs parallel ist. Dann bringe man das Fernrohr über den einen Arm des Dreifufses, hänge an den Stift eine Röhrenlibelle und bringe ihre Luftblase durch die Stellschraube zum Einspielen. Dreht man nun den Stift um 180° und legt das Fernrohr in seinen Lagern um, und spielt die Libelle wieder ein, so haben beide Achsen, unter der Voraussetzung, dafs die Durchmefser der glockenmetallenen Ringe gleich sind, eine normale Lage gegen einander. Eine Abweichung wird aber zur Hälfte an der erwähnten Stellschraube des Dreifufses, zur anderen Hälfte an den Correctionsschräubchen $m_1 m_1$ verbefsert

Auch diefs Verfahren wird so lange wiederholt, bis keine Abweichung mehr wahrzunehmen ist.

3. Die Ebenen der Spiegel *P* und *Q* müfsen ihrer Drehachse parallel sein.

Man stelle zwei mit Fadenkreuzen versehene Fernröhre *A* und *B* in Fig. 132. so auf, dafs ihre nach kaum hundert Fufs von einander abstehenden Objecten *P* und *Q* gerichteten Visierlinien nahe in einer Ebene liegen, schraube den Ansatz *k* (Fig. 130.), der den Spiegelrahmen trägt, ab und gebe demselben dergestalt auf einem Würfel oder dgl. eine feste Unterlage, dafs die Drehachse der Spiegel ebenfalls nahe in der Ebene und zugleich in dem Durchschnitt der Visierlinien liegt und auch den von ihnen gebildeten Winkel halbiert. Den zu prüfenden Spiegel *C* bringe man nun normal auf jene Ebene und bewirke durch allmälige Drehungen am Spiegel und Verrückungen der Unterlage, dafs das reflectierte Bild des links liegenden Objects *P* auch am Fadenkreuz des links liegenden Fernrohrs erscheint, drehe darauf den Spiegel um 180° und untersuche die Deckung des anderen Objects *Q* mit dem Fadenkreuze des anderen Fernrohrs *B*. Kann dann die gefundene Abweichung nicht allein durch Drehung des Spiegels um seine Drehachse erreicht werden, so verbefsert man ihre Hälfte an den Correctionsschrauben q und q_1. Diefs Verfahren gründet sich auf den Satz, dafs eine Ebene durch eine halbe Umdrehung um eine Gerade als Achse nur dann eine parallele, aber entgegengesetzte Stellung zu der in der ersten Lage annehmen wird, wenn sie der Achse parallel war.

Fig. 132.



4. Die beiden Theile *P* und *Q* des grofsen Spiegels müfsen in einer Ebene liegen.

Diese Prüfung nimmt man am einfachsten dadurch vor, dafs man die Drehachse des Spiegels einer seitwärts liegenden Geraden, z. B. der Kante eines Gebäudes u. dgl. ungefähr parallel stellt und untersucht, ob die reflectierten Bilder derselben in *P* und *Q* in einer Geraden liegen. Die etwa nöthige Correction geschieht dann an der Correctionsschraube *p*.

5. Die Ebene des kleinen Spiegels mufs zur Ebene des grofsen normal stehen.

Man stellt den Heliotrop und ein mit einem Fadenkreuz versehenes Fernrohr so dem ersteren gegenüber auf, dafs die Visierlinie des Hülfsfernrohrs etwa um die halbe Entfernung der Mitte der Spiegel *P* und *Q* höher steht, als die

Visierlinie des Heliotropenfernrohrs und dafs zugleich beide Visierlinien parallel sind. Diefs erreicht man dadurch, dafs man zuerst das Heliotropenfernrohr auf ein entferntes Object richtet, auf diefs das Hülfsfernrohr in der angegebenen Höhe einstellt und nun das Heliotropenfernrohr wieder in seinen Lagern umlegt. Darauf stellt man die Drehachse des Spiegelsystems senkrecht und dreht letzteres so lange, bis ein deutlich markierter Punkt durch Reflexion im kleinen Spiegel in der Achse des Heliotropenfernrohrs erscheint. Sind nun die Ebenen der beiden Spiegel wirklich normal, so mufs das von der oberen Hälfte des grofsen Spiegels reflectierte Bild desselben Objects in die Visierlinie des Hülfsfernrohrs fallen. Die Berichtigung einer etwa gefundenen Abweichung geschieht dann durch die beiden Correctionsschräubchen s und s_1 in Fig. 130.

Dreht man darauf nochmals den grofsen Spiegel um 180^0 um seine Achse, so dafs die andere Hälfte desselben Oben zu liegen kommt und zeigt sich dann das Bild eines auf der entgegengesetzten Seite des Spiegels liegenden Gegenstandes wieder an der Visierlinie des Hülfsfernrohrs, so wird dadurch nochmals die in 4. angegebene Forderung erfüllt.

Soll nun mit dem Gaufs'schen Heliotrop das Sonnenbild dem entfernten Beobachter zugeworfen werden, so richtet man das Fadenkreuz des Fernrohrs auf dessen Standort, dreht mittelst des Stifts *H* das Fernrohr um seine Achse, bis der von der Scheibe U herrührende Schatten eine schmale Linie bildet und dreht darauf durch den Stift *T* das Spiegelsystem um seine Achse, bis das im kleinen Spiegel *S* entstandene Sonnenbild an dem Durchschnittspunkt des Fadenkreuzes liegt. Dann wird der entfernte Beobachter in dem grofsen Spiegel das reflectierte Sonnenbild wahrnehmen. Zu dieser Einstellung wird das Sonnenglas *g* (Fig. 130.) vor die Mitte des Oculars geschoben.

2. Der Stierlin'sche Hülfsheliotrop.

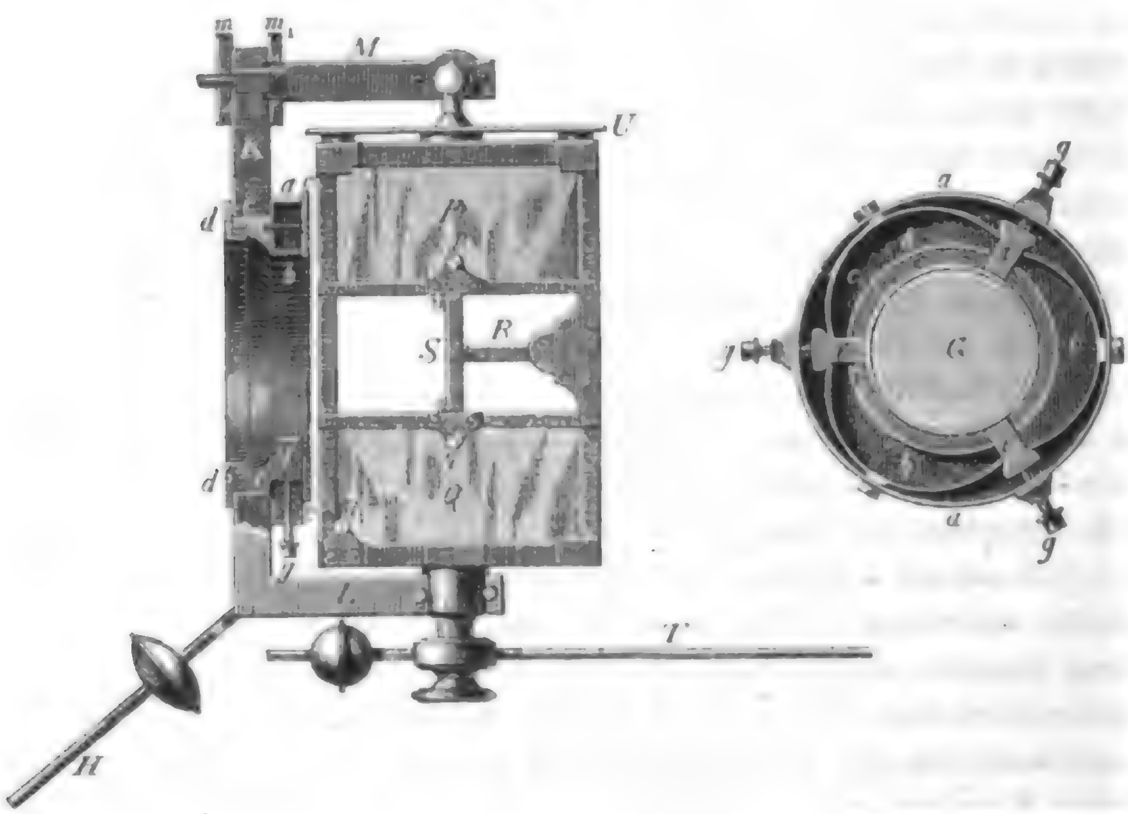
§. 286.

Da die Anschaffung einer gröfseren Anzahl von Heliotropen bei einer gröfseren Vermefsung sehr bedeutende Ausgaben veranlafst, so wird durch die Möglichkeit der Verbindung des Spiegelsystems mit dem Fernrohre des Theodoliths, oder auch mit einem beliebigen anderen Fernrohre, wie diefs nach der Angabe von Stierlin in Münster ausgeführt werden kann, eine allgemeinere Anwendung des für die Gradmefsungen so wichtigen Heliotropen möglich gemacht.

Die erwähnte Verbindung fordert nur ein Gehäuse, welches von zwei ungleichen Ringen gebildet und durch eine ringförmige Platte, welche von dem Gehäuse abwärts in einen einfachen Ring ausläuft, einseitig verschlofsen ist, aufserdem noch drei Stellschrauben, welche in dem äufseren Ringe ihre Muttern haben, und drei prismatische Stücke, die in Einschnitten des inneren Ringes sich finden, gegen den äufseren Mantel des Objectivrohrs des anzuwendenden Fernrohrs treten lafsen.

Fig. 133. stellt einen von Breithaupt in Cassel verfertigten Stierlin'schen Hülfsheliotrop im Drittel der natürlichen Gröfse und zwar das erwähnte Gehäuse

Fig. 133.



in zwei Durchschnitten dar, von denen der eine der Visierlinie des Fernrohrs parallel ist, der andere auf derselben normal steht. Die Einrichtung des Spiegelsystems PQS, und auch die Art, wie dasselbe beim Gebrauch gerichtet wird, ist wie die der Figg. 130. und 131., nur sind hier die Enden der Umdrehungsachse der Spiegel kugelförmig abgedreht und mit Kappen geschlofsen. Zur Correction der Achse gegen die Collimationslinie des Fernrohrs enthält das dem Fernrohre zugekehrte Ende des Armes M ein Schraubengewinde mit einer Mutter m und einer Gegenmutter m_1; auch mufste in der vorliegenden Zeichnung der in Fig. 130. an dem Fernrohr angebrachte Führungsstift H an den einen Trägerarm L verlegt werden.

In den auf das Objectivrohr gebrachten cylindrischen Theil K des Rahmens ist das von den beiden Ringen *aa* und *bb*, und von der in einen stärkeren Ring auslaufenden Bodenplatte *cc* begränzte Gehäuse eingesetzt. Nach dem Fernrohr zu wird der letzterwähnte Ring mittelst mehrerer Schrauben zwar gehalten, ohne aber seine Achsendrehung zu verhindern; durch einen eben solchen Ring *ee* auch das Gehäuse selbst geschlofsen. Der innere Ring *bb* des Gehäuses hat drei Einschnitte, in welche die drei prismatischen Einsätze *fff* gesteckt und durch drei Stellschrauben *ggg*, welche in, an dem äufseren Ringe *aa* angebrachten Ansätzen

ihre Muttern haben, gegen den äufseren Mantel der Objectivfafsung des Fernrohrs *G* getrieben werden. Die Wirkung der Schrauben wird durch drei plattenförmige, gebogene Federn vermittelt, welche in dem Gehäuse liegen, mit ihren Enden unter den Kopf der Einsätze *fff* treten und durch drei Schrauben an dem Ringe *aaa* gehalten werden.

Will man nun den Apparat an dem Fernrohre befestigen, so müfsen zuvörderst die Einsätze mittelst der Stellschrauben *ggg* so viel zurückgezogen werden, dafs man denselben bequem über die Objectivfafsung des Fernrohrs bis vor ihren Ansatz schieben kann. Beim Befestigen hat man dann nur noch darauf zu achten, dafs die Einsätze in gleicher Entfernung vorgeschraubt werden.

Die Prüfung und Berichtigung des Hülfsheliotropen ist übrigens ganz nach dem vorigen Paragraphen vorzunehmen.

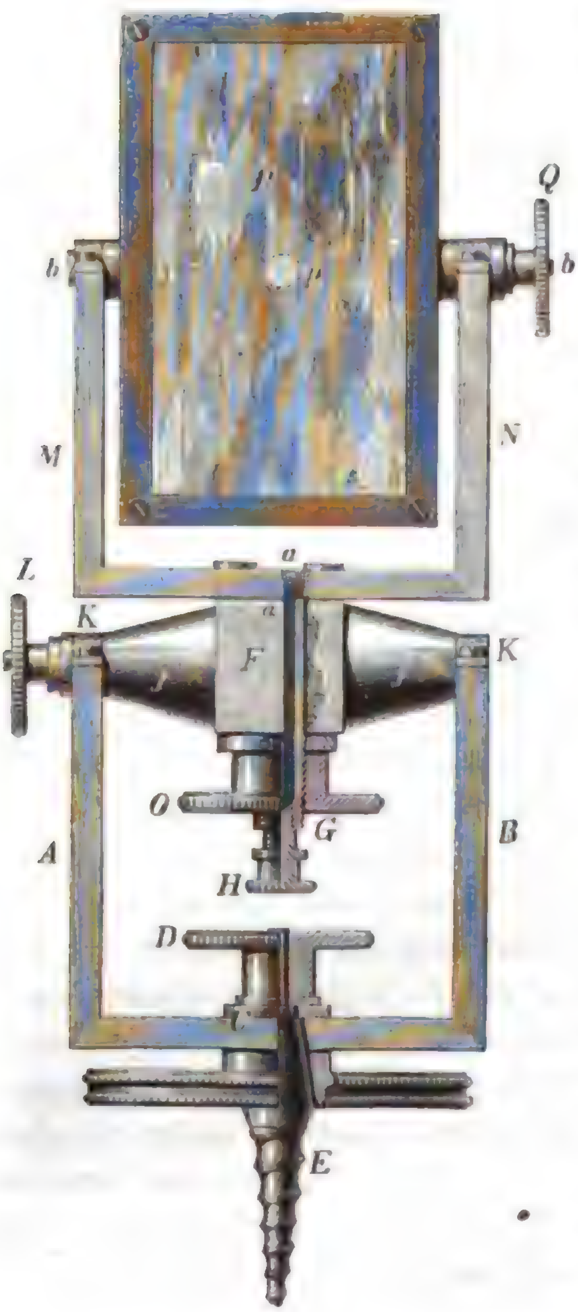
3. Der Steinheil'sche Heliotrop.

§. 287.

Eine noch gröfsere Einfachheit bietet der vom Professor Steinheil in München construierte Heliotrop dar, bei dessen Gebrauch indessen vorausgesetzt wird, dafs man den Richtpunkt, nach welchem das Sonnenbild reflectiert werden soll, mit freiem Auge sehen kann. Der Erfinder des Werkzeugs ging bei der Construction desselben von der Idee aus, dem Spiegel die Einrichtung zu geben, dafs er von der Sonne zwei Bilder zeige, von denen das eine nach dem Richtpunkte geworfen werden, das andere weniger intensive nach der entgegengesetzten Richtung reflectiert, und deshalb zur Orientierung des ersten dienen soll. Das weniger intensive Bild wird dadurch erzeugt, dafs die Sonnenstrahlen durch einen in der Mitte des Spiegels befindlichen kleinen, nicht foliierten Kreis von etwa 1 Linie Durchmefser hindurchgehen, auf einen das Licht stark zerstreuenden Körper fallen, von der Rückseite der nicht foliierten Glasfläche wieder reflectiert und von dem Auge als eine matt erleuchtete Scheibe, etwa wie der Mond am Tage erscheint, wahrgenommen werden. Es ist daher ein Fernrohr an dem Werkzeuge entbehrlich, eignet sich aber auch nur für kleinere Entfernungen.

Fig. 134. stellt einen von Meyerstein in Göttingen angefertigten Steinheil'schen Heliotrop in natürlicher Gröfse dar. *AB* ist ein Metallrahmen, der um die bei *C* befindliche Achse sich drehen läfst und durch die Mutter *D* festgestellt werden kann. Unterhalb desselben findet sich eine Holzschraube *E*, mittelst welcher das Werkzeug auf einem Stativ oder einem anderen feststehenden Gegenstande sich befestigen läfst. *F* ist ein cylindrisch ausgebohrter Würfel, der nach Unten einen hohlen cylindrischen Ansatz *G*, mit einem Gewinde auf der Aufsenfläche versehen, enthält. In ihn greift das Schräubchen *H*, in dessen oberes ausgehöhltes Ende ein das Licht stark zerstreuender Körper, z. B. ein Stückchen Kreide gelegt wird. *JJ* sind abgestumpfte Kegel, die mit dem Würfel verbunden sind und in cylindrische Zapfen auslaufen, deren Pfannen auf *A* und *B* liegen

Fig. 134.



und durch Kappen gehalten werden. Um die Drehachse KK läfst sich der obere Theil des Instruments drehen und durch die Mutter L hemmen. Mit dem Würfel ist durch einen kleinen cylindrischen, ausgebohrten Ansatz aa der Rahmen MN verbunden, der zugleich um aa gedreht und durch die Mutter O gegen den Würfel gehemmt werden kann. Dieser Rahmen trägt den um die Achse bb drehbaren Planspiegel P mit der nicht foliierten kreisförmigen Stelle p, die Fafsungsplatte des Spiegels aber hinter p ein eben so grofses kreisförmiges Loch zum Durchsehen. Durch die Mutter Q kann wieder die Drehung des Spiegels gehemmt werden. In der Mitte des unteren Theils des Rahmens endlich liegt eine Glaslinse, durch welche die durch die unbelegte Stelle p hindurchgehenden Sonnenstrahlen auf der in ihrem Brennpunkte liegenden Kreide ein Sonnenbild erzeugt, das von da auf die Glasfläche p zerstreut wird und von dieser durch Reflexion als ein weniger intensives Bild wahrgenommen werden kann.

Einer Prüfung bedarf der Heliotrop nicht, da beide Bilder der Sonne von derselben Ebene des Spiegels erzeugt werden. Hierauf beruht auch die Theorie des Instruments.

Der Gebrauch des Heliotropen ist folgender. Nachdem man denselben an der Stelle, von welcher das Sonnenlicht reflectiert werden soll, befestigt hat, dreht man den unteren Rahmen um die Achse C, dafs der Spiegel der Sonne zugekehrt ist, dreht ferner den oberen Rahmen um die Achse KK so weit, bis die Verlängerung der Achse aa die Sonne trifft. Wird alsdann der Spiegel um seine Achse bb, zugleich aber das ganze Werkzeug um C so weit gedreht, dafs die durch den Kreis p dringenden Sonnenstrahlen die Glaslinse treffen, was man leicht erkennen kann, so wird die Achse C durch Anziehung der Mutter D festgestellt. Hält man nun das Auge hinter den Kreis p, so sieht man das durch die Kreide

und die Glaslinse erzeugte Sonnenbild als eine in der Luft schwebende helle runde Scheibe. Durch Drehung des Spiegels um seine Achse bb, und des Rahmens MN um aa, bringt man das fortwährend mit den Augen verfolgende matte Sonnenbild nach dem gegebenen Richtpunkte, auf welchem dann der dortige Beobachter das vom Spiegel P reflectierte Bild der Sonne wahrnehmen wird.

Indem man also mit dem Heliotrop aus dem Dreieckspunkte A, in welchem zugleich der Theodolith aufgestellt gedacht werden mufs, das Licht nach den Winkelpunkten B und C sendet, giebt man den daselbst stehenden Gehülfen den Richtpunkt A an, nach welchem sie ihre Heliotrope zu richten haben, um deren reflectierte Sonnenbilder als Signale bei der in A vorzunehmenden Winkelmefsung benutzen zu können.

4. Die Heliotrope von Baeyer und Bessel.

§. 288.

Baeyer wandte bei der preufsischen Küstenvermefsung aufser dem Gaufs'schen Heliotropen bei den weniger entfernten Punkten den in Fig. 135. etwa im Viertel der natürlichen Gröfse dargestellten einfachen Apparat als Heliotrop an.

Fig. 135.



In der Mitte eines etwa 20 Zoll langen und einige Zoll breiten Brettes AB von gutem, trocknem Holz angefertigt und mit einem Oelanstrich versehen, ist eine Linie parallel den Längskanten gezogen, in deren Mitte eine Schraube a angebracht ist, mittelst welcher der Apparat auf dem Dreieckspunkte festgeschraubt wird. An jedem Ende des Brettes ist eine Metallplatte mit einer konischen Vertiefung in der genannten Linie eingelafsen, in welche ein Konus passt, der einerseits den Rahmen CD für den Spiegel, andrerseits eine Säule mit einer etwa $1\frac{1}{2}$ Zoll langen Metallröhre EF trägt. Wie bei dem Steinheil'schen Heliotrop trägt der genannte Rahmen wieder einen Spiegel G mit einem in seiner Mitte nicht foliierten Kreise g; aufserdem ist hinter dem Mittelpunkte desselben in der Fafsungsplatte des Spiegels ein kleines rundes Loch angebracht, welches die Stelle eines Oculars vertritt. In der Achse der Röhre ist ein Fadenkreuz ausgespannt, dessen Durchschnittspunkt mit dem Mittelpunkte des Kreises g gleiche Höhe hat. An dem Ende der Röhre ist eine Metallklappe f angebracht, die auf

der Innenseite mit weifsem Papier überzogen ist und durch welche die Röhre einerseits verschlofsen und geöffnet werden kann. Endlich ist *b* eine Schraube, mittelst welcher das Brett in einer Verticalebene auf- und niederbewegt werden kann, zu welchem Zwecke an dem Ende *B* unter dem Brette ein Paar Füfse *c* angebracht sind.

Soll der Heliotrop zum Signalisieren gebraucht werden, so bringt man das Auge hinter das Ocular und richtet, nach Oeffnung der Klappe *f*, durch Drehung des Lineals um die Schraube *a* und durch Anwendung der Schraube *b* das Fadenkreuz auf das Object, wohin das Sonnenlicht reflectiert werden soll. Alsdann schliefst man die Röhre mit der Klappe und bringt durch Drehung des Spiegels das Sonnenlicht so in Röhre, dafs der runde Schatten, welcher von der nichtfolierten Stelle gebildet wird, auf der Papierfläche der Klappe central mit dem Fadenkreuz erscheint. Dann sieht der auf dem Richtpunkte stehende Beobachter das von dem Spiegel reflectierte Sonnenlicht.

§. 289.

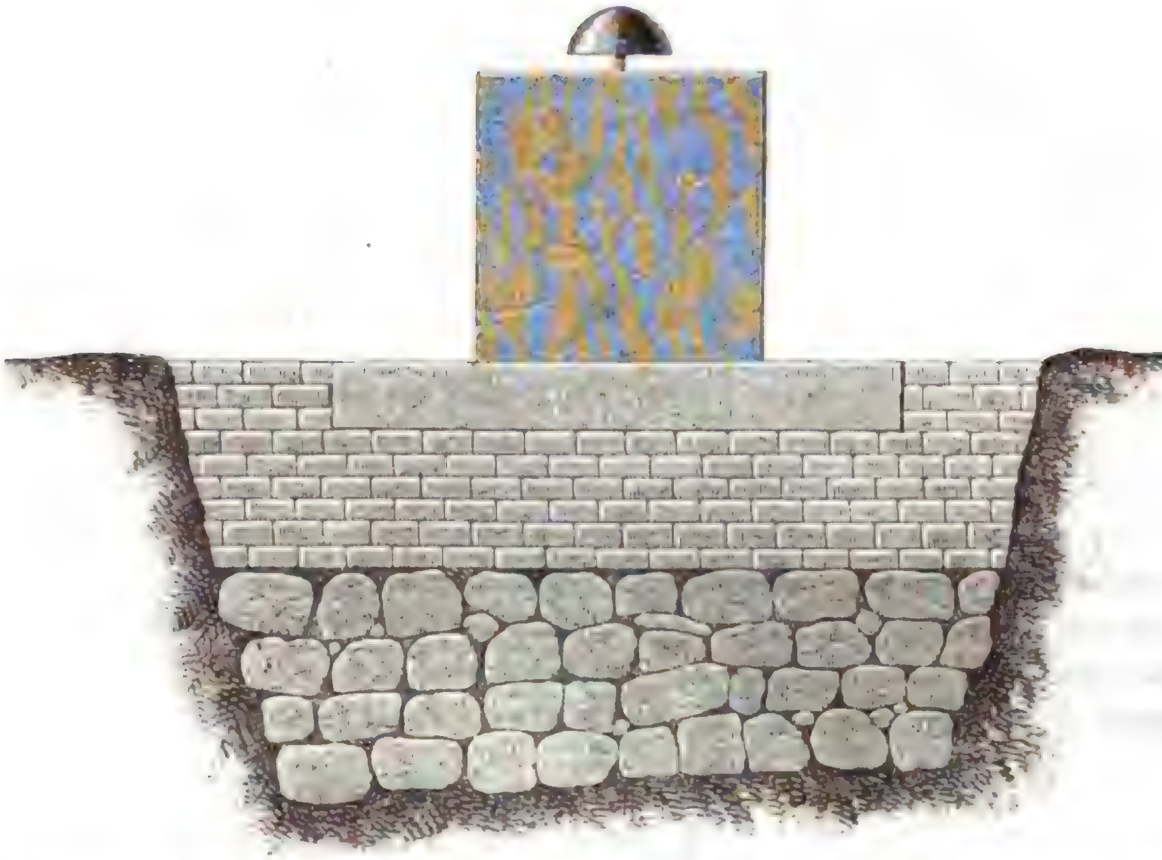
Von Bessel und Baeyer wurden bei der Gradmefsung in Ostpreufsen bei den weniger entfernten Dreieckspunkten fein polierte und versilberte Halbkugeln von Kupfer von 4 bis 8 Zoll Durchmefser zu Signalen angewandt, die so auf dem Beobachtungspfeiler angebracht wurden, dafs der auf ihrer Oberfläche einige Zoll hervortretende Metallcylinder in einem Loche der Kugel sich befand, dessen Achse durch den Mittelpunkt der Kugel ging und dessen Durchmefser dem des Cylinders gleich war. Dann diente der auf der Kugeloberfläche sich erzeugende helle Punkt für die entfernten Richtpunkte als Signal. Da aber der Ort des Lichtpunktes von dem Stande der Sonne und von der Beobachtungszeit abhängt, so mufs derselbe aus dem Stundenwinkel und der Declination der Sonne, aus der Polhöhe, dem Halbmefser der Kugel und der Entfernung vom Beobachter berechnet werden. Es zeigte sich das Sonnenlicht bei den gröfseren Halbkugeln in einer Entfernung von 5000 Toisen noch im Theodolithenfernrohr sichtbar. In Fig. 136. ist diefs Signal dargestellt.

Allgemeine Bemerkungen über das Heliotropenlicht.

§. 290.

Ohne Zweifel ist es demselben Umstande, bei welchem nach §. 271. die beim Horizontalwinkelmefsen einvisierten Richtobjecte scheinbar bewegt erschienen und die Winkelmefsung in den Vormittags- und frühen Nachmittagsstunden oft unmöglich machten, zuzuschreiben, dafs auch das Heliotropenlicht zu bestimmten Tageszeiten als ein mit unreinen, oft verwaschenen Umrissen begränzter Kreis von ungefähr 40 Sekunden Durchmefser erscheint, der in eine zitternde und selbst hüpfende Bewegung übergeht, ja zuweilen gar keinen Reflex erkennen läfst, obgleich die Richtung, aus welcher das Licht herkommt, die vollkommen richtige

Fig. 136.



ist; zu anderen Zeiten dagegen, die den Abendstunden näher kommen, als ein scharf begränzter Kreis von etwa 10 Sekunden Durchmefser, ohne hüpfende oder zitternde Bewegung wahrzunehmen ist. Auf diese verschiedenen Erscheinungen macht auch Baeyer in seinem Nivellement zwischen Swinemünde und Berlin aufmerksam und giebt daselbst auch an, dafs in der Nähe der Küste der Ostsee, in flachen Gegenden, überhaupt da, wo die Sonnenstrahlen nahe am Erdboden fortgehen, mehr oder weniger kurz vor dem Untergange der Sonne, abermals ein Zittern des Lichtkreises eintritt, und dieser auch zuweilen als ein hüpfender kleiner Lichtpunkt erscheint.

Das zu starke oder zu schwache Licht des Heliotropen verbefsert man dadurch, dafs man den Spiegel bald mehr, bald weniger verkleinert oder vergröfsert, welches durch Aufkleben von Papier oder Wiederwegnehmen desselben erreicht wird.

Uebrigens würde in der Praxis die wichtige Gaufs'sche Erfindung viel von ihren Vortheilen verlieren, wenn zwischen den gegenseitigen Beobachtern nicht zugleich eine Heliotropentelegraphie eingeführt würde, über welche dieselben sich vor dem Gebrauche der Heliotropen vereinigt haben müfsen. Sie besteht in einer bestimmten Zahl von tactmäfsig unterbrochenen Lichtblitzen, die man entweder mit dem Heliotropen selbst, oder mit einem Spiegelsextanten dem zweiten Beobachter zusendet und die man ganz einfach durch sekundenlanges Zu- und Aufdecken des Spiegels erhält. Der Empfänger der Nachricht erwiedert in gleicher Art dieselbe Zahl der Lichtblitze, sobald er dieselbe benutzen kann und will. Obgleich für

das gewöhnliche Bedürfnifs höchstens acht bis zehn Zeichen ausreichen, indem selbstverständlich durch die Telegraphie eben nur die nothwendigsten Bedürfnisse mitgetheilt werden sollen, z. B. das Licht ist zu verkleinern oder zu vergröfsern, ich wünsche Licht, ich sehe dasselbe schlecht, ich bin behindert zu beobachten, ich bin fertig u. s. w.: so können doch sehr bequem auch die Zahlen von 10 an dadurch dargestellt werden, dafs man nach 10 eine Pause von etwa 30 Sekunden eintreten läfst, und daher die Zahl 4 nach der Pause die Zahl 14 bezeichnet.

Ueber die Wirkung und den Erfolg des Heliotropenlichts mag noch bemerkt werden, dafs bei der Gradmefsung im Königreich Hannover dasselbe bei dem Pointieren vom Lichtenberge im Hildesheimschen bis zum Hils bei Grünenplan in 39952 Meter, und bis zum Brocken in 42437^m, von Hils bis zum Deister in 40605^m, also durchschnittlich in $5^1/_2$ Meilen Entfernung das reflectierte Licht immer mit blofsen Augen wahrgenommen werden konnte; unter günstigen Umständen war diefs auch beim Pointieren vom Hils bis zum Brocken in 55122^m und vom Brocken bis zum Hohenhagen bei Dransfeld in 69194^m Entfernung der Fall. Im Fernrohre konnte das Licht vom Brocken nach dem Inselsberge im Thüringer Walde in 105986^m Entfernung ebenfalls noch zum Pointieren benutzt werden.

3. Die Lampensignale bei den Arbeiten des Markscheiders.

§. 291.

Selbstverständlich können die im Vorhergehenden beschriebenen Signale bei den Arbeiten des Markscheiders in den Grubengebäuden nicht benutzt und nur durch Lampenlicht an sich oder in Verbindung desselben mit zweckmäfsig eingerichteten Hülfsapparaten ersetzt werden. Zur Sichtbarmachung der Winkelpunkte bei den Winkelmefsungen mit dem im §. 252. beschriebenen und in Fig. 117. dargestellten Grubentheodolith dient das in den Figg. 137. und 138. in halber natürlicher Gröfse dargestellte Signal. Fig. 137. zeigt dasselbe in der vorderen Ansicht, wenn es mit dem auf dem Stativ befestigten Dreifufs nebst Büchse, *AACE* (vergl. Fig. 117.) verbunden ist, Fig. 138. dagegen zeigt das eigentliche Signal mit der Libelle und der Lampe in der Seitenansicht.

Der Hauptheil des nach Breithaupt *) von F. Wagner in Wiesbaden angegebenen Signals besteht aus einer runden Scheibe *S* von Milchglas oder mattgeschliffenem Glase, auf welcher für gröfsere und kleinere Entfernungen Quadrate in verschiedener Gröfse in der in der Zeichnung dargestellten Art mit schwarzer Farbe verzeichnet oder eingebrannt sind.

Die Scheibe wird von einem Messingrahmen *ss* mit einem Fufse *T* umgeben, der auf der Platte *U* festgeschraubt ist, während letztere wieder mit dem in die Dreifufsbüchse *E* passenden Zapfen *V* in Verbindung steht und durch Anziehen der Druckschraube *e* festgestellt wird. *W* stellt die auf der Platte *U* befestigte

*) Breithaupt. Magazin von den neuesten mathematischen Instrumenten u. s. w. Heft IV. Cassel 1860.

Fig. 137.

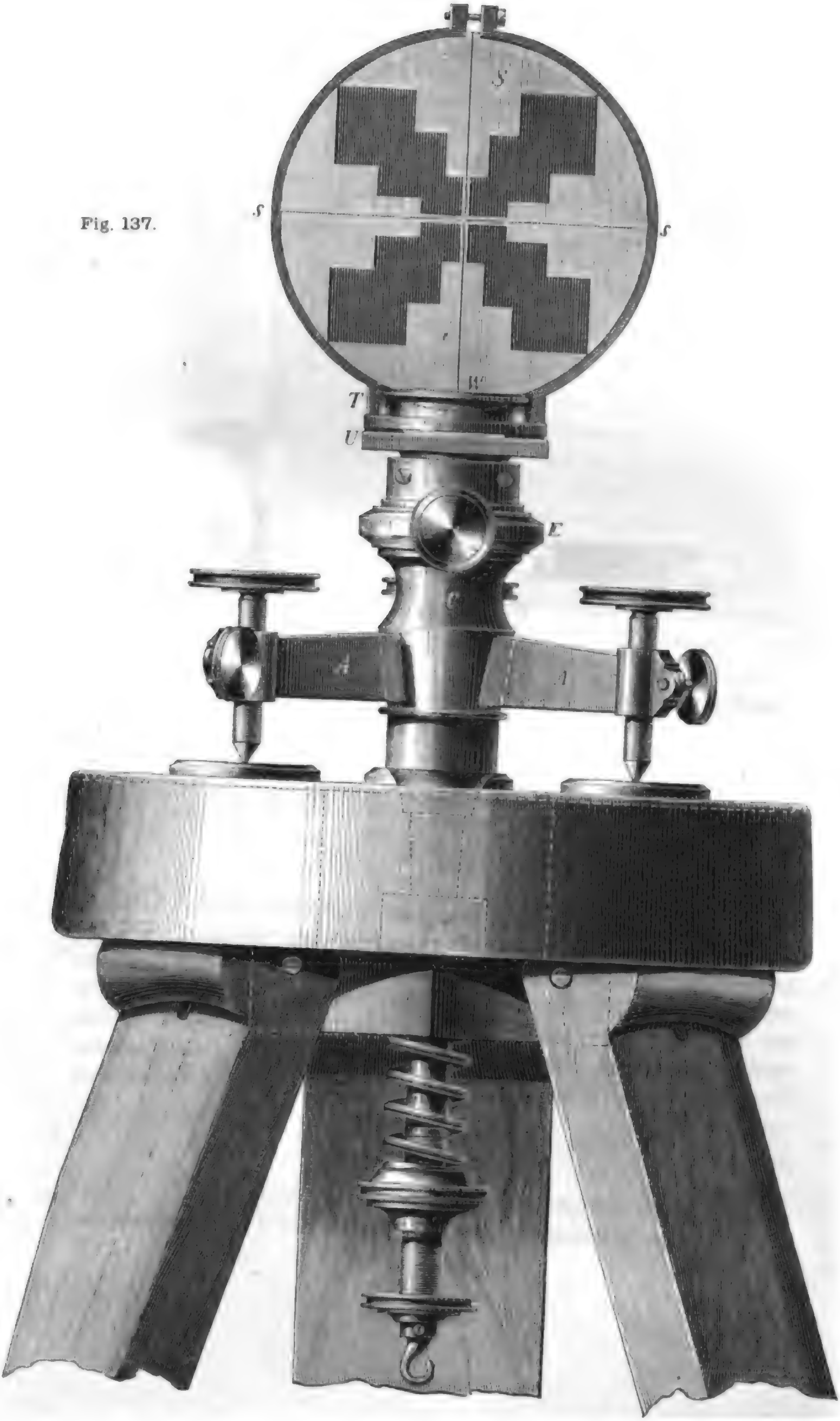
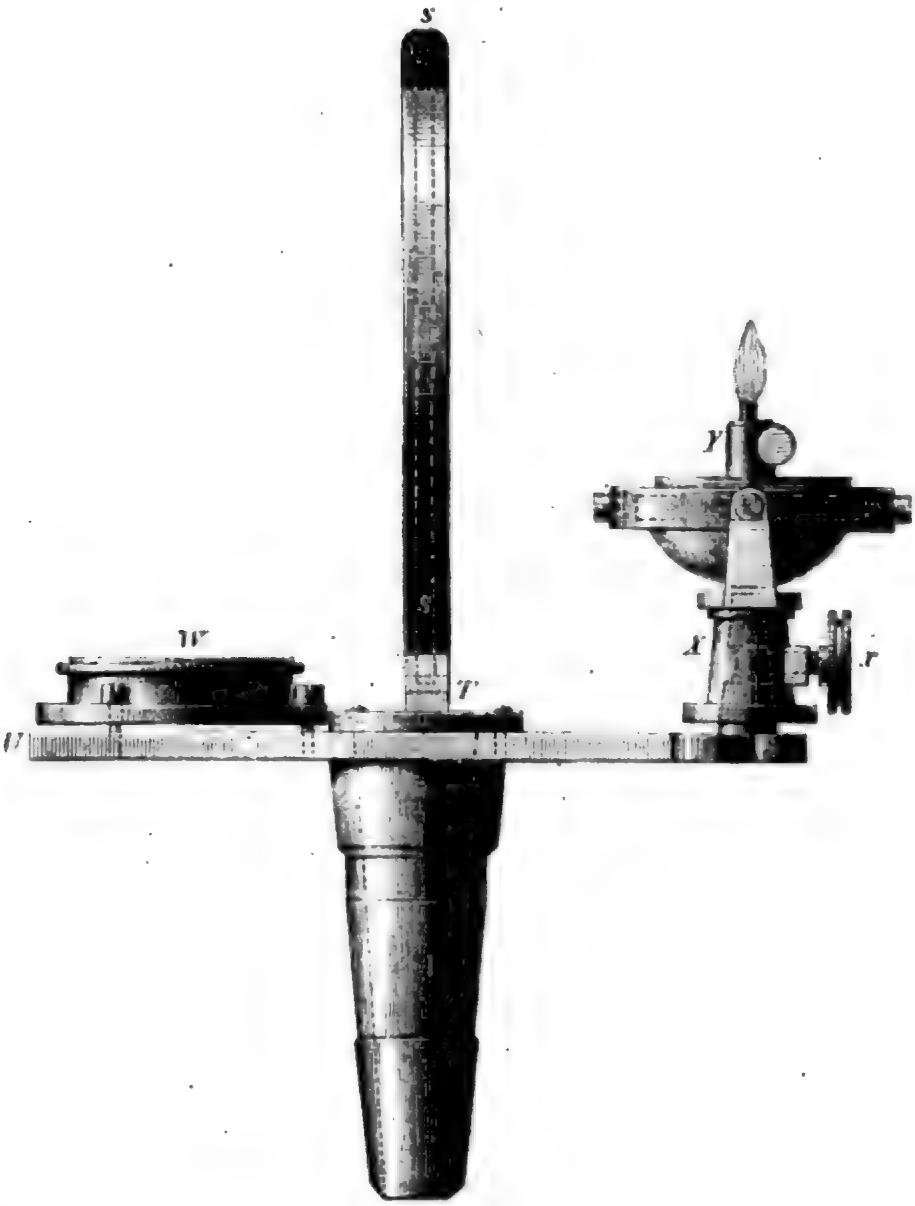


Fig. 138.

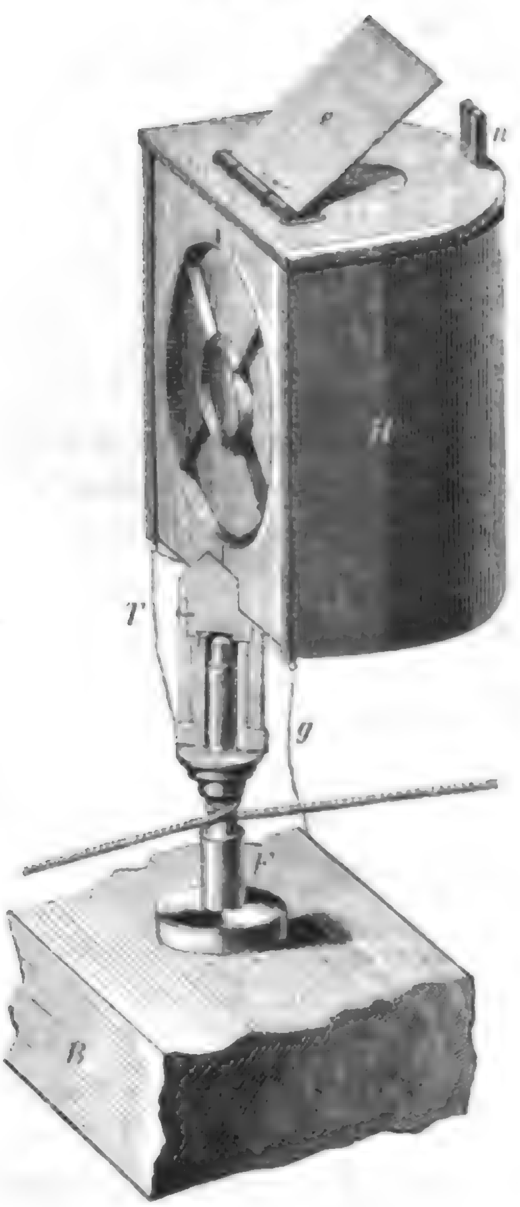


Dosenlibelle, wonach der Zapfen senkrecht gestellt werden kann, *X* die mit der Druckschraube *x* versehene Büchse vor, in welche die in einem Doppelringe bewegliche Lampe *Y* gesteckt wird. Die Höhe des Mittelpunkts des Signals über der Unterfläche des Zapfens *V* entspricht dem Abstande desselben Punktes von der Mitte der Rotationsachse des Fernrohrs. Selbstverständlich gehören daher zu einer Winkelmefsung aufser dem Stativ und dem darauf befestigten Dreifufs mit dem Theodolith noch zwei andere indentische Stative und Dreifüfse mit den zugehörigen Lampensignalen.

§. 292.

Von den beiden Signalen, welche zu dem im §. 253. beschriebenen Junge'schen Markscheidergoniometer gehören, zeigt Fig. 139. das eine derselben in perspectivischer Ansicht.

Fig. 139.



Die Lampe ist hier durch ein Stearinlicht ersetzt, welches die vordere, mit Milchglas oder weifsem Papier verschlofsene kreisförmige Ebene des messingenen Halbcylinders *H* beleuchtet. Die Quadrate des im vorigen Paragraphen beschriebenen Signals werden hier durch dünne verdiale Stäbchen eines beweglichen concentrischen Ringes der kreisförmigen Oeffnung vertreten, von denen das eine in die Richtung der Achse der Schraube *F* fällt und durch feine Einschnitte am Umfang des Kreises und des Ringes markiert ist, während die beiden anderen unter 45⁰ gegen dasselbe geneigt sind. Das Innere des Cylinders ist poliert oder mit einem weifsen Anstrich versehen, um die Beleuchtung zu erhöhen, und die obere Grundebene desselben mit einem beweglichen Blechschirm *e* versehen; aufserdem wird noch durch einen Vorhang *g* das nach Unten fallende Licht aufgefangen.

Um die Vorderfläche des Halbcylinders in die Richtung der Visierlinie des Fernrohrs des Goniometers zu bringen, ist das Signal nicht allein durch die Schraubenmutter *T* drehbar, sondern es ist auch auf der oberen Grundebene des Halbcylinders eine Marke *n* und eine eben solche, in der Zeichnung nicht sichtbare, auf der Unterfläche des Schirmes *e* angebracht, wonach die Drehung des Signals auszuführen ist. Zu diesem Zwecke wird dann der Schirm herabgelegt.

VI. Die winkelzeichnenden Werkzeuge.

1. Der Mefstisch (die Mensel).

§. 293.

Der Mefstisch oder die Mensel (mensula) unterscheidet sich dadurch wesentlich von den in dem Vorhergehenden beschriebenen Winkelmefsern, dafs mit demselben die Horizontalprojectionen der auf dem Felde zu mefsenden Winkel unmittelbar nur durch Construction auf einer horizontal zu stellenden Ebene sich

bestimmen lafsen. Er wurde am Ende des 16. Jahrhunderts von dem Professor Joh. Prätorius zu Altdorf in Baiern erfunden.

In seiner einfachsten Gestalt kann er aus einem Stativ bestehen, auf welchem eine feste, unbiegsame Ebene horizontal gestellt und bewegt und auch durch eine Druckschraube festgestellt werden kann, um auf derselben mittelst eines Diopterlineals die gesuchten Horizontalprojectionen der gegebenen Naturwinkel construieren zu können. Seit der genannten Zeit hat er vielfache Umänderungen und Verbefserungen erlitten, so dass man behaupten darf, dafs nicht leicht ein Winkelmefser in so verschiedenen Modificationen erschienen ist, als der Mefstisch. Was seine Anwendung auf dem weiten Felde der praktischen Geometrie anlangt: so sollte er vorzugsweise nur zu topographischen Aufnahmen, also zur Aufnahme des Details bei Landesvermefsungen und zu militairischen Zwecken bei dem Entwurf der Feld-Manöver-Karten oder zu ähnlichen Arbeiten benutzt werden, wozu er gerade ein vortreffliches Mefswerkzeug darbietet, indem er, bei einer sonst zweckmäfsigen Construction die Festlegung von Punkten nach Methoden gestattet, die mit keinem der anderen Winkelmefser in der Art und so einfach angewandt werden können.

Die Anforderungen, welchen unter dieser Voraussetzung ein guter Mefstisch entsprechen mufs, dürften demnach folgende sein:

1. Bei möglichster Leichtigkeit mufs er doch fest und unbeweglich auf dem Felde aufgestellt werden können, um sicher zu sein, dafs er während des Zeichnens seine Lage nicht ändert.

2. Der Zeichentafel mufs nicht nur mit der erforderlichen Schärfe eine horizontale Lage gegeben, sondern auch eine Verschiebung um mehrere Zolle nach allen Horizontalrichtungen gegen den festen Stativkopf ertheilt werden können, aufserdem aber mufs sie aufser der groben auch noch eine feine Horizontalachsendrehung gestatten.

3. Mufs der Geometer auch die nach entfernten Richtpunkten gehenden Visierlinien sowohl ihrer Lage, als ihrer Entfernung nach verzeichnen können, weshalb von der Anwendung eines Diopterlineals gar keine Rede sein kann, sondern dasselbe durch ein in einer Verticalebene auf und nieder zu bewegendes Fernrohr, das zugleich als Distanzmefser dienen kann, ersetzt werden mufs. Nur in dem Falle, wenn die Beschaffenheit des Terrains die unmittelbare Mefsung der Länge der Visierrichtungen mittelst der Mefskette mit Sicherheit gestattet, kann man die Forderung der Einrichtung des Fernrohrs als Distanzmefser fallen lafsen.

§. 294.

Die wesentlichen Theile des Mefstisches, unter der im vorigen Paragraphen gemachten Voraussetzung, sind folgende:

1. Ein Scheibenstativ mit hölzernem Kopf, auf welchem ein Dreifufs mit einem Mikrometerwerk zur feinen Einstellung mit

Leichtigkeit und gehöriger Sicherheit befestigt werden kann. Von den in den §§. 94. u. f. beschriebenen Einrichtungen zur Hemmung der groben und zur feinen Achsenumdrehung verdient die in den §§. 103. und 104. angegebene Schraube ohne Ende mit dem Schlitten am wenigsten angewandt zu werden (vergl. §. 104.), obgleich sie wegen ihres geringeren Preises vielfach ihre Anwendung findet. Als sehr zweckmäfsig hat sich die Anwendung des Klemmringes mit der Klemmschraube (§§. 95. und 96., und Figg. 58., 70. und 71.) bewährt.

Bei kleineren Aufnahmen, und daher auch für kleinere Mefstische, die zugleich weniger kostspielig sein sollen, kann auch das Scheibenstativ mit metallenem Kopf und der damit verbundenen Nufs angewandt werden, wie in Fig. 142. dargestellt ist.

2. Die Mefstischplatte. Sie besteht aus einem quadratischen Reifsbrett von 15 bis höchstens 22 Zoll Seite, von astfreiem, gut ausgetrocknetem Lindenholze. Zur Vermeidung des Werfens setzt man die Platte so aus quadratischen Stücken zusammen, dafs die Holzfasern sich kreuzen, und verbindet die Stücke von Aufsen durch Rahmen.

Die obere Ebene wird mit dauerhaftem Papier überzogen. Um aber das Bilden von Falten bei feuchtem Wetter zu vermeiden, ist das Aufkleben mit Eiweifs auf folgende Weise vorzunehmen. Man schlägt das Eiweifs zu Schaum und läfst die Flüfsigkeit einige Stunden lang stehen, damit der Faserstoff sich setzen kann. Darauf giefst man die obere Flüfsigkeit behutsam ab und verdünnt sie etwas mit Wafser. Mit dieser Masse wird nun die untere Papierfläche bestrichen, dann das umgewendete Papier auf die ebenfalls mit der Flüfsigkeit benetzte Platte gelegt und mit einem zusammengeballten Tuche von der Mitte aus nach den Rändern hin so lange gestrichen, bis es ganz aufliegt. Schliefslich befestigt man, so rasch als möglich, die überstehenden Ränder des Papiers an den schmalen Seiten der Tischplatte mit Mundleim.

Nach mehrmaligem Bekleben mufs indessen die Tischplatte, vor dem Aufkleben eines neuen Papierbogens, sorgfältig mit Wafser abgewaschen werden, um den etwa angesetzten Faserstoff zu entfernen und das Festhalten des Bogens zu verhindern.

3. Die Libelle zum Horizontalstellen der Mefstischplatte. Man wendet meistens die Dosenlibelle an, die man entweder auf die Tischplatte setzt oder auf die Oberfläche des hölzernen Lineals der Kippregel schiebt, wie Fig. 147. zeigt. Bei den in den Figg. 145. und 146., so wie 148. und 149. dargestellten Kippregeln kann aber zweckmäfsiger eine Röhrenlibelle benutzt werden.

4. Die Kippregel, worunter die Vorrichtung zur Bestimmung der gegenseitigen Lage der Winkelschenkel und zu deren Construction auf der Mefstischplatte verstanden und meistens nicht als ein zugehöriger Theil des Mefstisches aufgeführt wird. Sie besteht aus einem Lineale etwa von der Länge der Diagonale der Tischplatte, auf welchem eine Metallsäule mit einem in einer Vertical-

ebene zu bewegenden Fernrohr befestigt ist. Diefs hat entweder nur an der einen, oder an beiden Seiten eine Rotationsachse und liegt in ersterem Falle in einer auf der Säule angebrachten Büchse, im anderen Falle aber mit seinen Endzapfen in zwei *y* förmigen Lagern, die ebenfalls mit der Säule in fester Verbindung stehen. Am zweckmäfsigsten ist das Fernrohr dergestalt seitlich von der Säule angebracht, dafs die Ebene, welche seine Collimationslinie beschreibt, auch durch die eine zum Ziehen der Linien dienende Kante des Lineals geht. Aus diesem Grunde darf die Säule nicht unabänderlich fest mit dem Lineale verbunden sein, sondern mufs eine geringe Drehung um ihre Achse durch angebrachte Correctionsschrauben gestatten.

Zum Lineale nimmt man meistens und zweckmäfsiger Holz (Mahagoni- oder Birnbaumholz), weil man solchen Linealen bei demselben Gewichte eine gröfsere Breite geben kann, als den messingenen, diese auch mehr schmutzen. Seine Länge mufs wenigstens die der Diagonale der Tischplatte betragen, bei einer Breite von 2 bis 3 Zoll und etwa 1/3 Zoll Dicke. Es liegt nicht mit seiner ganzen Breite auf, sondern nur mit etwa 1/3 Zoll breiten Rändern an den Kanten und in der Mitte, während die übrige Fläche ausgestochen ist. Die mit der Visierebene zusammenfallende Kante ist schräg abgeschnitten; auf den schrägen Schnitt ist eine Messingplatte geschraubt, deren untere Kante normal zur Tischplatte steht.

Mit dem Fernrohr zugleich bewegt sich, zur Bestimmung der Elevations- und Depressionswinkel der gegen den Horizont geneigten Stationslinien ein nach Quadranten getheilter Höhenkreis oder auch nur ein Höhenbogen, dessen Vernier oder Index auf einer an der Säule befestigten Platte angebracht ist. Bei einem nicht distanzmefsenden Fernrohre reicht die grobe Achsendrehung aus; bei einem distanzmefsenden Fernrohre mufs dagegen eine Hemmung für die grobe und ein Mikrometerwerk für die mikrometrische Bewegung desselben vorhanden sein.

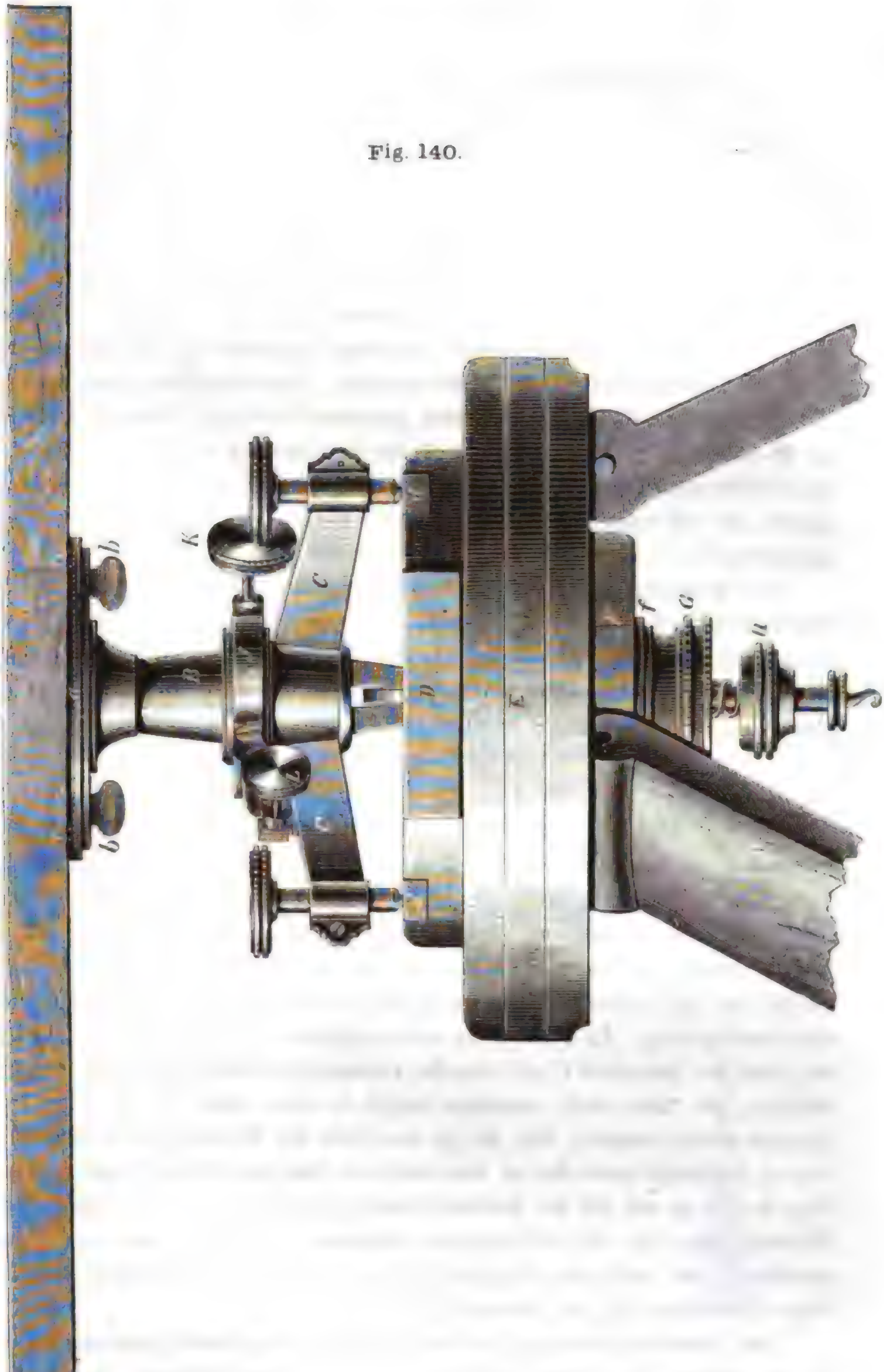
5. Endlich gehören zu den wesentlichen Theilen des Mefstisches aufser einem verjüngten Mafsstabe auf Holz, zwei Bleifedern von verschiedener Härte zum Ziehen der Richtlinien und zum weiteren Auszeichnen des aufgenommenen Terrains, für welche zweckmäfsig zwei Behälter auf dem Lineale angebracht sind; aufserdem noch ein Handzirkel zum Abnehmen und Auftragen der Längen der gemefsenen Linien.

Die verschiedenen Einrichtungen und Constructionen der erwähnten Theile des Mefstisches werden bei der nachfolgenden Beschreibung derselben näher angegeben werden, wobei auch noch einige nicht wesentliche Theile beschrieben werden sollen.

§. 295.

Der in Fig. 140. im Drittel der natürlichen Gröfse dargestellte Mefstisch, vom hiesigen Mechaniker Frerk jun. angefertigt, darf in Bezug auf Festigkeit

Fig. 140.



und Bequemlichkeit mit Recht den vorzüglicheren Constructionen beigezählt werden.

A ist die Mefstischplatte von $21\frac{1}{2}$ Zoll Seite, die mittelst eines in ihre Unterfläche eingelafsenen Metallringes *a*, auf der Scheibe *b* der drehbaren Büchse *B* des Dreifufses *CC* durch drei Knopfschrauben befestigt ist. Die Drehung der Büchse geschicht, wie der Durchschnitt in Fig. 50. zeigt, um einen hohlen Verticalzapfen, der mittelst einer Flansche mit dem Dreifufse in fester Verbindung steht. Die drei Stellschrauben des Dreifufses ruhen mit ihren Spitzen in keilförmigen Einschnitten der in die Holzplatte *D* eingelafsenen Metallstücke *dd*. In die Platte *D* ist, wie Fig. 50. zeigt, ein Metallcylinder zur Aufnahme des Hakens und der Spiralfeder der Befestigungsvorrichtung eingeschraubt; sie ruht auf dem Kopfe *E* des hinreichend festen Scheibenstativs. Das unter dem Kopfe liegende und über den erwähnten Metallcylinder gesteckte dreiseitige Prisma *F* dient mit der Metallscheibe *f* und der Mutter *G* zur Verschiebung der Platte *D* mit dem darauf befestigten Dreifufs auf dem Stativkopfe, während die Mutter *H* den Mefsapparat auf bekannte Weise mit der Platte *D* verbindet und worüber §. 71. zu vergleichen ist.

Zur Hemmung der groben Achsendrehung dient der Klemmring *J* mit der Klemmschraube *K*, zur feinen Einstellung aber die Mikrometerschraube *L*, über deren Einrichtung Fig. 71. zu vergleichen ist, wenn nur darin die Klemmschraube K_2, an die der Mikrometerschraube *M* diametral gegenüber liegende Stelle des Klemmringes verlegt, gedacht wird.

§. 296.

Zu dem Einlothen eines auf der Mefstischplatte gegebenen Punktes über den demselben entsprechenden auf dem Felde wird häufig der in Fig. 141. im Drittel der natürlichen Gröfse dargestellte Hülfsapparat, die Einlothzange oder Gabel angewandt und deshalb auch von manchen Geometern als ein dem Mefstische zugehöriger Apparat angesehen, der aber als entbehrlich erscheint und bei einiger Uebung durch ein herabfallendes Steinchen füglich ersetzt werden kann. Er besteht aus zwei ungleichen hölzernen Armen *A* und *B*, die durch das Querstück *C* mit einander verbunden sind und durch das bei *c* befindliche, mit einem Stofs versehene Gelenk in eine solche divergierende Lage gebracht werden können, dafs die an dem Ende der Messingplatte *b* befindliche Oese b_1 lothrecht unter der an dem kürzeren Arme befestigten Messingspitze *a* liegt, welche an den auf der Mefstischplatte gegebenen Punkt gelegt wird. Zum Einlothen dient ein (in der Zeichnung weggelafsenes) Gewicht mit dem Gegengewichte *D*, die durch eine Doppelschnur mit einander verbunden sind und über deren Einrichtung Fig. 51. zu vergleichen ist.

Das Einstellen über den gegebenen Punkt auf dem Felde geschieht nun bei dem im vorigen Paragraphen beschriebenen Frerk'schen Mefstische, nachdem das

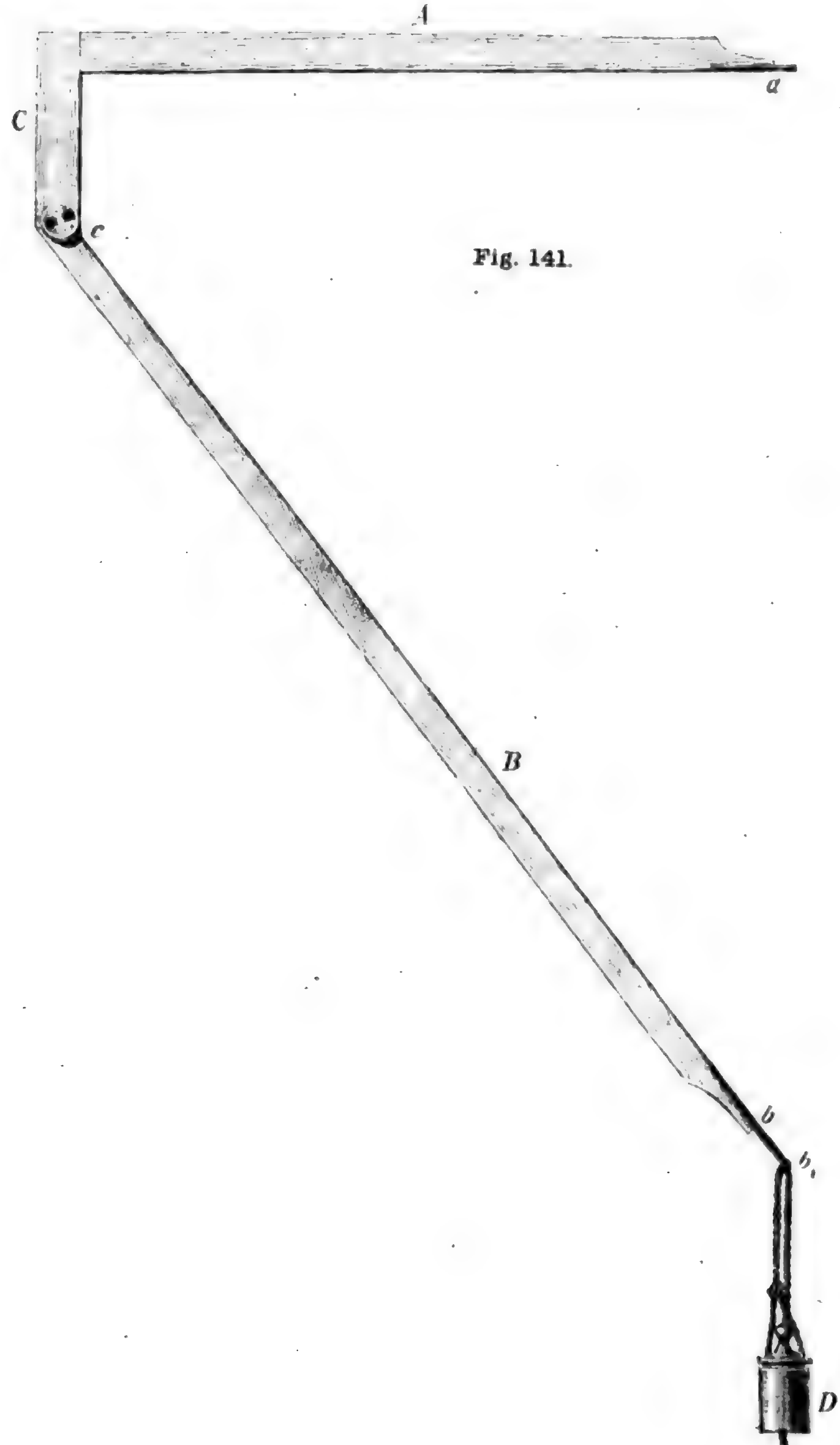


Fig. 141.

Stativ schon annähernd richtig aufgestellt und in dem Boden befestigt ist, durch Lösung der Mutter *G* (Fig. 140.), wodurch sich die Metallscheibe *f* und das Prisma *F* von der Unterfläche des Stativkopfes etwas entfernt und nun der Teller *D* mit dem Dreifufse und der damit verbundenen Tischplatte *A* um mehrere Zolle nach allen Richtungen verschoben werden kann. Nach erfolgtem Einlothen ist dann die Mutter *G* wieder fest anzuziehen, welches offenbar ohne Verstellung der Mutter *H* geschehen kann. Sowohl in dieser Einrichtung, als auch in der festen Hemmung der Mefstischplatte mittelst des Klemmringes *J* und der zugehörigen Klemmschraube *K* liegen die Hauptvorzüge des in Rede stehenden Mefstisches.

Auf eine weniger zweckmäfsige Weise wird die Verschiebung der Mefstischplatte bei dem Münchener Mefstische ausgeführt, der im §. 298. näher beschrieben wird. Noch unzweckmäfsiger ist aber die von Bugge *) eingeführte Einrichtung, die in einem an der Mefstischplatte befestigten Metallkreuze und einem darunter gelegten, mit Druckschrauben versehenen Metallringe besteht, gegen welchen die Mefstischplatte durch die erwähnten Schrauben festgestellt, durch deren Lösung aber die Platte mit dem Kreuze nach allen Richtungen um mehrere Zoll verschoben werden kann. Durch diese Einrichtung wird aber leicht eine Unfestigkeit an dem Werkzeuge herbeigeführt und findet sie daher auch nur noch eine geringe Anwendung.

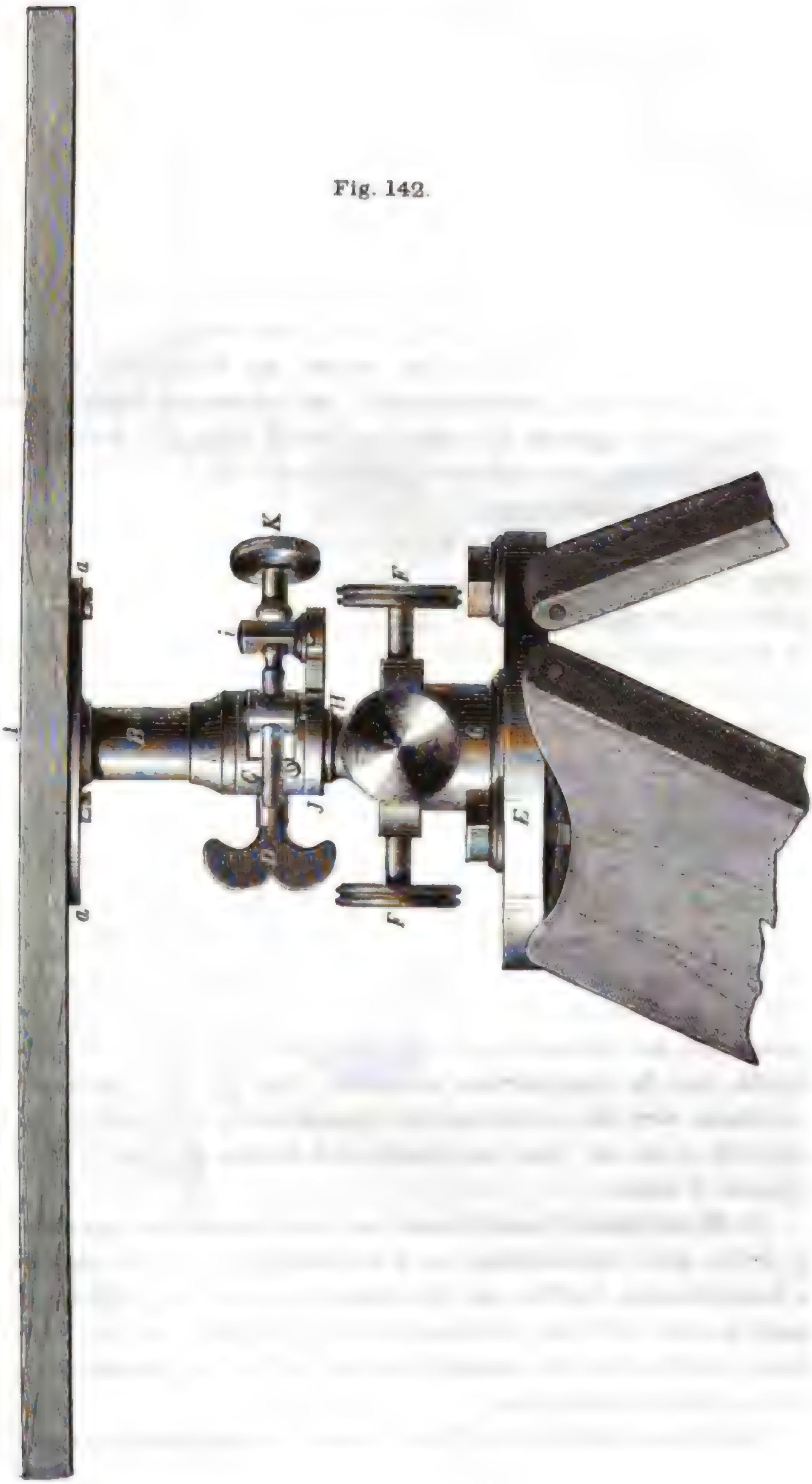
§. 297.

Für kleine Mefstischaufnahmen, aber auch nur für solche, dient der in Fig. 142. in halber natürlicher Gröfse dargestellte, von Frerk sen. in Celle angefertigte Mefstisch. Die Mefstischplatte *A* hat nur 15 Zoll Seite und wird durch die an der untergeschraubten Platte *aa* befestigten, konisch ausgebohrten Büchse *B* auf den Zapfen der Nufs gestellt, während die an dem unteren Ende der Büchse befindliche, in der Zeichnung nicht sichtbare Hülse in das Innere des aufgeschlitzten Klemmringes *C* zu liegen kommt und durch Anziehen der Klemmschraube *D* festgestellt werden kann. Durch deren Lösung kann die grobe Achsendrehung der Mefstischplatte erfolgen. Die Nufs liegt in dem unter dem Metallkopfe *E* des Scheibenstativs festgeschraubten Lager und läuft aufwärts in einen Würfel aus, gegen dessen vier Seitenebenen die vier horizontalliegenden Stellschrauben *FFF* treten, welche wieder in dem, mit dem Stativkopfe aus einem Stück bestehenden hohlen Cylinder *G* und dessen Fortsatz die Muttern haben. Die Höhlung des Cylinders gestattet dem Würfel den erforderlichen Spielraum.

Der hohlkehlartig gebildete Fortsatz *H* des Würfels trägt die Grundplatte *J* für das Lager *i* der Mikrometerschraube *K*, während deren Mutter in dem prismatischen Fortsatze *c* des Klemmringes *C* liegt, so dafs die feine Einstellung der Mefstischplatte hieraus sich genügend ergiebt, aufserdem aber noch Fig. 70. verglichen werden kann.

*) Bugge's gründliche und vollständige theoretisch-praktische Anweisung zum Feldmefsen. Aus dem Dänischen von H. Tobiesen. Altona 1798.

Fig. 142.



Die Einstellung eines gegebenen Punktes auf der Mefstischplatte über einen auf dem Felde gegebenen Punkt kann aber nur durch Verstellung der Füfse des Stativs ausgeführt werden.

§. 298.

Wegen seiner eigenthümlichen Einrichtung mag hier noch die Beschreibung des in den Figg. 143. und 144. im Drittel der natürlichen Gröfse dargestellten Münchener- oder Reichenbach'schen Mefstisches folgen. Da dieser Apparat zur Einsicht mir nicht zu Gebot stand, so ist derselbe aus dem Werke: Die Instrumente der höheren und niederen Geodäsie und der Hydrometrie, von K. Engelbreit, Nürnberg 1852, entnommen.

Fig. 143. bezeichnet die vordere Ansicht des Mefstisches, Fig. 144. den mittleren Theil desselben im Durchschnitt. Der unbefangene Leser mag aus der Beschreibung des Apparats sich selbst ein Urtheil fällen, ob derselbe „zu den besten jetzt üblichen Constructionen“ gerechnet werden darf, oder nicht, wie a. a. O. die Meinung ausgesprochen ist.

A ist der hölzerne Kopf des Scheibenstativs, an welchem die Füfse desselben mittelst der mit Hebeln versehenen Muttern *aa* befestigt werden können. Die zum Horizontalstellen der Mefstischplatte erforderliche Verticalbewegung derselben wird durch einen hohlen Umdrehungskörper (eine hohle Nufs) *B* gestattet, welche in der sphärischen Aushöhlung des Kopfes *A* ruht und mit einer, in ihr befestigten und durch den Kopf und dessen prismatischen Ansatz *C*, so wie dessen Unterlegscheibe *c* gesteckten Centralschraube *b*, durch die aufgesetzte Mutter *D* mehr oder weniger gegen den Stativkopf befestigt werden kann. Den Deckel der Nufs bildet eine mit zwei Rändern, und Unten mit einer Nuth versehene Scheibe *EE*, welche in ihrer Mitte einen konischen Ansatz *e* trägt, der wieder in die ebenfalls konische Büchse *f* der quadratischen Holzplatte *F* pafst. Um den kaum einen Zoll hohen Ansatz *e* findet daher die Horizontalrotation der Holzplatte *F*, sammt der mit ihr verbundenen Mefstischplatte *G* Statt. Durch die mit ihrem Kopfe in der Platte *F* liegende Schraube f_1 und die federnde Unterlegplatte wird die Holzplatte gegen den Rand der Scheibe *EE* stets gleichmäfsig gedrückt, ohne die Achsendrehung aufzuheben. Soll diese aber gehemmt werden, so geschieht diefs durch Anziehen der Klemmschraube *HH*, welche die Metallplatten *hh* gegen den Rand der Scheibe *EE* drücken und ihre Muttern in der Holzplatte *F* haben.

Die Mefstischplatte *G* enthält zwei, mit einer breiten Nuth versehene Leisten *JJ*, welche durch Holzschrauben mit *G* verbunden sind. In die Nuthen legen sich die lappenförmigen Fortsätze der Holzplatte *F*, so dafs durch Anziehung der vier Knopfschrauben *KK* eine Verbindung der Mefstischplatte mit dem Stativ, durch Lösung derselben eine Verschiebung derselben in einer zur Papierfläche normalen Richtung bewirkt werden kann.

Die Horizontalstellung der Mefstischplatte geschieht durch drei, durch den

Fig. 143.

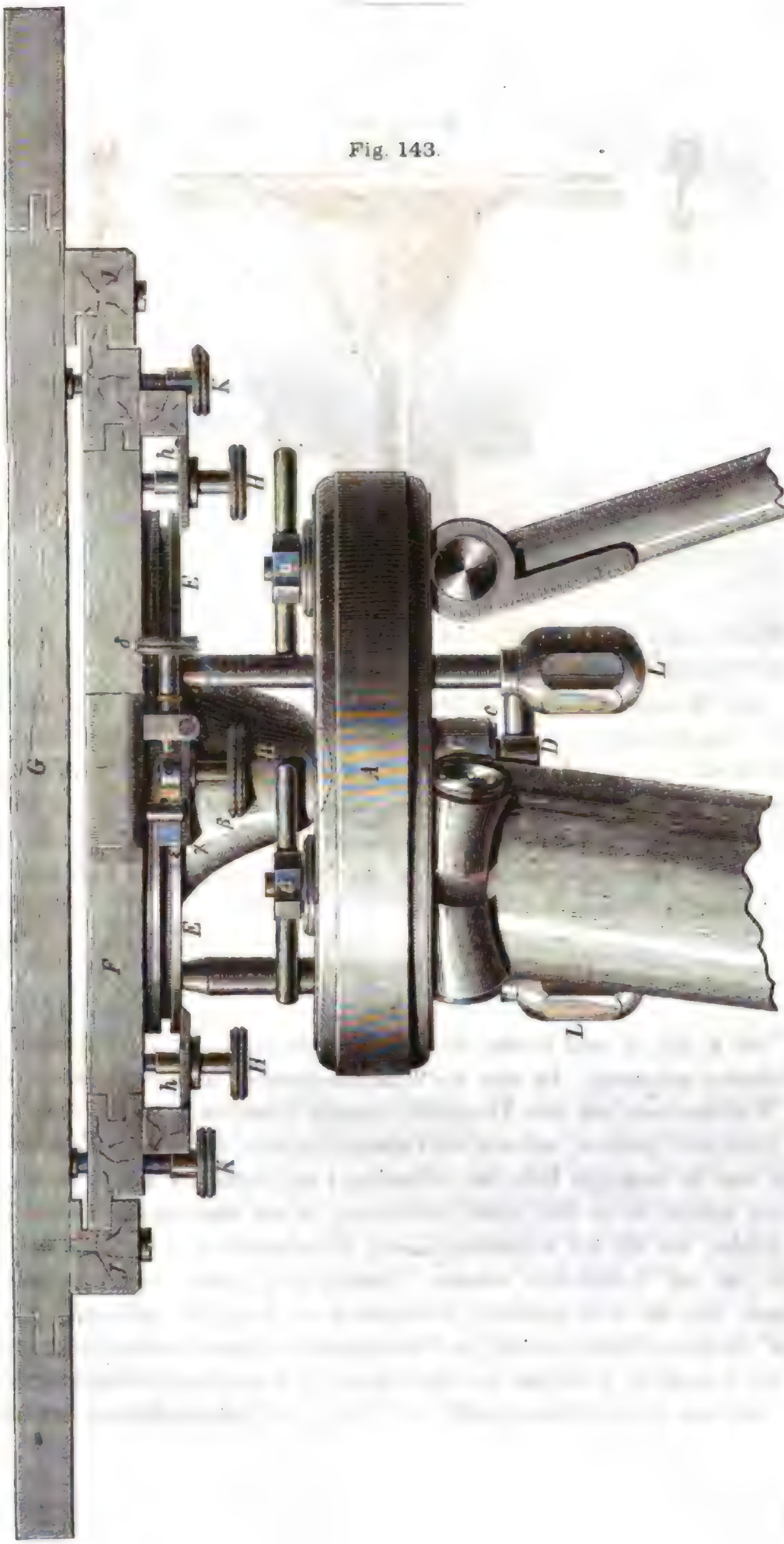
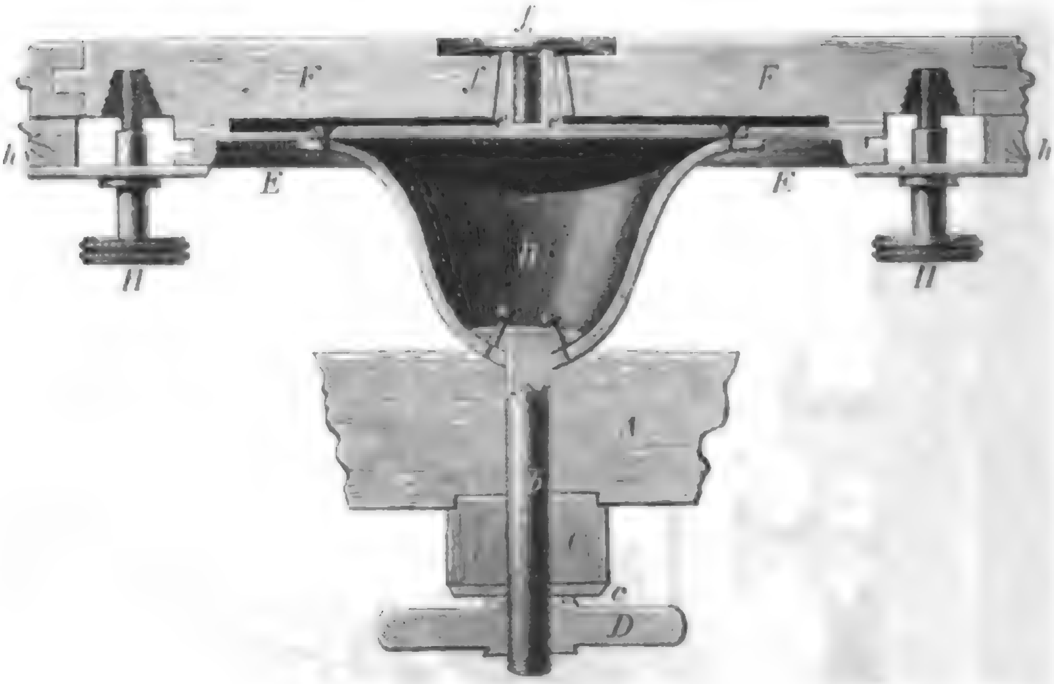


Fig. 144.



Stativkopf gegen die Unterfläche der Scheibe E tretende Stellschrauben LL, zu deren Wirkung der Stativkopf eingelafsene Metallmuttern enthält.

Zur Hemmung der groben Achsendrehung der Mefstischplatte dient eine mit einem vorspringenden Arm α versehene Halterplatte und eine Klemmschraube β, durch deren Anziehen die Klemmplatte γ und daher auch der Arm α an den genutheten Rand der Scheibe EE gedrückt wird. Durch Anwendung der Mikrometerschraube δ, deren Fufs sich gegen den Arm α legt, und durch eine mit der Klemmplatte verbundene und sich gegen einen Stift legende Feder kann demnach die feine Achsendrehung bewirkt werden.

Die Kippregel des Mefstisches.

§. 299.

Im §. 294, 4. sind bereits die Hauptanforderungen an die Kippregel des Mefstisches aufgestellt. Da aber die Winkelbestimmung mit dem Mefstische kein der Winkelmefsung mit dem Theodolith analoges Verfahren in der zweiten Lage des Fernrohrs gestattet, wodurch der Collimationsfehler, die etwaige excentrische Lage, und die ungleiche Höhe der Achsenlager des Fernrohrs u. s. w. eliminiert werden können: so ist eine solche Einrichtung an der Kippregel zu treffen, dafs die Fehler, die bei der Winkelbestimmung einen nachtheiligen Einflufs äufsern, nicht nur mit Leichtigkeit erkannt, sondern auch soweit verbefsert werden können, dafs der noch gebliebene Ueberschufs als einflufslos angesehen werden kann. Zu diesen Fehlern gehören aber vor allen der Collimationsfehler und der, dafs bei dem Kippen des Fernrohrs die Collimationslinie keine Verticalebene beschreibt.

Aus den bei der Untersuchung der Fehler der Azimuthalinstrumente ange-

stellten Betrachtungen geht nun hervor, dafs zur Bestimmung des Collimationsfehlers, das Fernrohr entweder mufs durchgeschlagen, oder in seinen Lagern mufs umgelegt werden können. In dem ersten Falle würde man der auf dem Lineale stehenden Säule eine zum Durchschlagen des Fernrohrs erforderliche Höhe geben müfsen, wodurch indessen der Gebrauch der Kippregel erschwert werden würde. Im zweiten Falle aber ist, analog der Einrichtung bei den meisten Theodolithen, an beiden Seiten des Fernrohrs ein Konus nebst Zapfen anzubringen und die Einrichtung zu treffen, dafs das Fernrohr bequem und sicher in seinen Achsenlagern umzulegen ist. Wenngleich schon seit längerer Zeit auch bei geringerer Säulenhöhe das Fernrohr zum Durchschlagen eingerichtet ist, wie diefs im §. 301. näher besprochen wird, so kann das dabei anzuwendende Verfahren doch kein bequemes genannt werden.

§. 300.

Die Figuren 145. und 146. stellen eine von Meyerstein in Göttingen verfertigte, zugleich zur Distanzmefsung eingerichtete Kippregel in vorderer und Seiten-Ansicht in halber natürlicher Gröfse dar.

Den Fufs der Säule A bilden zwei über einander liegende cylindrische Platten a und b. Die obere a tritt mit ihrem Schraubengewinde a_1 in ein in dem hölzernen Lineale B liegendes Futter und ist an demselben durch eine Mutter α befestigt. Von ihr geht auch, wie die Grundrifszeichnung zeigt, ein Arm a_2 aus, durch welchen der Säule auf dem Lineale eine kleine Drehung ertheilt werden kann. Die untere Platte b hat zwei prismatische Fortsätze b_1 und b_2, durch deren Enden Schrauben β_1 und β_2 gegen den Arm a_2 treten, wodurch demselben eine Bewegung gegeben wird.

Auf der Säule ist die Platte C befestigt, welche in die beiden Stützen D und D_1 für die Achsenlager des Fernrohrs E ausgehen. Diefs hat eine solche Lage, dafs die Ebene, welche die Visierlinie beschreibt, durch die Kante b_3 des Lineals geht, oder dafs ihr durch die Schrauben β_1 und β_2 diese Lage leicht ertheilt werden kann. Das eine der Achsenlager ist verstellbar und mit den nöthigen Correctionsschrauben versehen.

Auf die Verlängerung des einen Zapfens ist der Verticalkreis F geschoben und wird auf derselben durch die Mutter f befestigt, so dafs der Indexfehler der Theilung leicht zu verbefsern ist. Er ist nach vier Quadranten bis auf Drittelgrade getheilt und hat $5^1/_2$ Zoll Durchmefser. Der zwischen Schraubenspitzen bewegliche Vernier g, der einzelne Minuten angiebt, wird von dem an der Stütze D befestigten Arme G getragen. Zum Ablesen der Theilung dient eine Handloupe.

An dem Ende des anderen Zapfens findet sich der geschlofsene Ring h mit der Bremsplatte und der Prefsschraube h_1; der von ihm auslaufende Arm H dient zur feinen Einstellung des Fernrohrs, wozu die Mikrometerschraube J und die ihr gegenüber liegende Mutter K für die Stellung der Spiralfeder auf bekannte

Fig 145

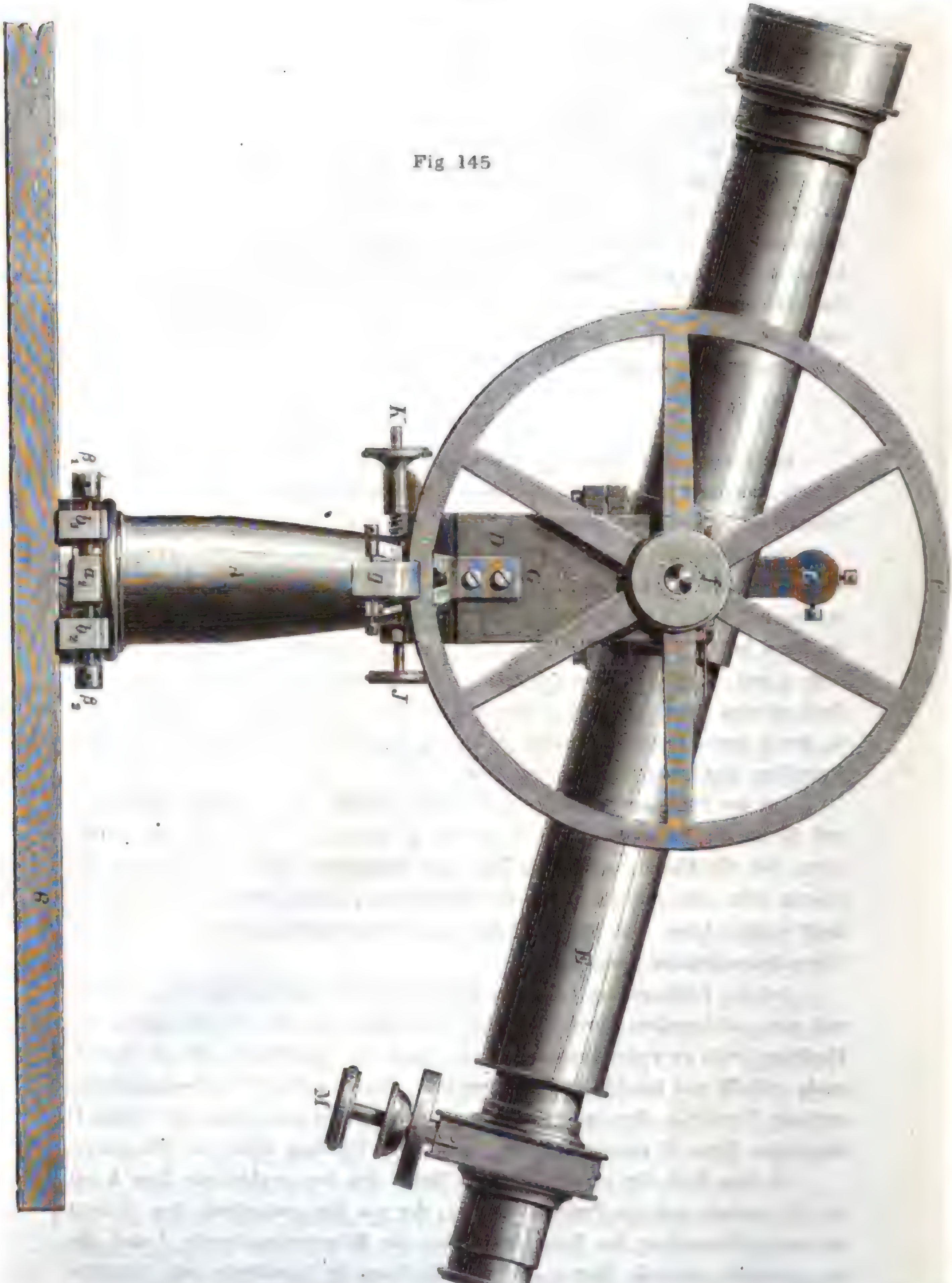


Fig. 146.

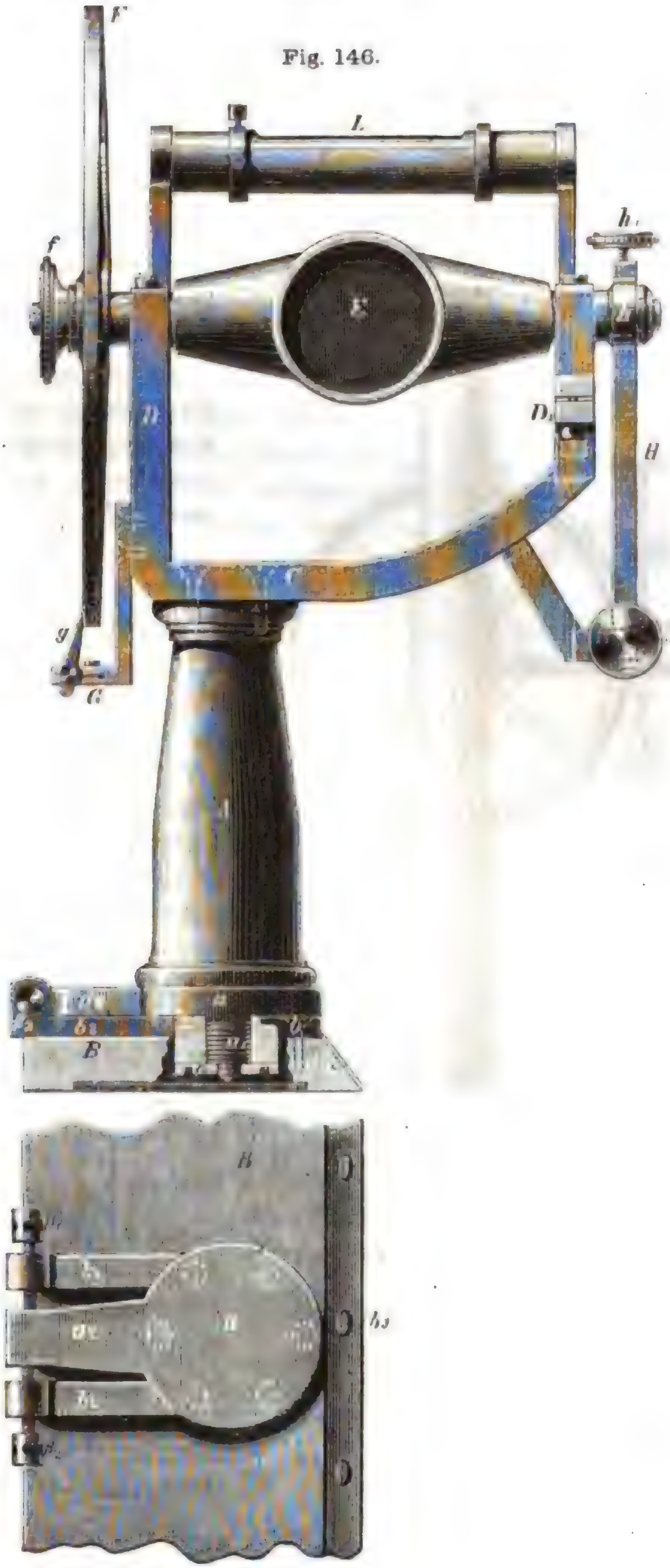
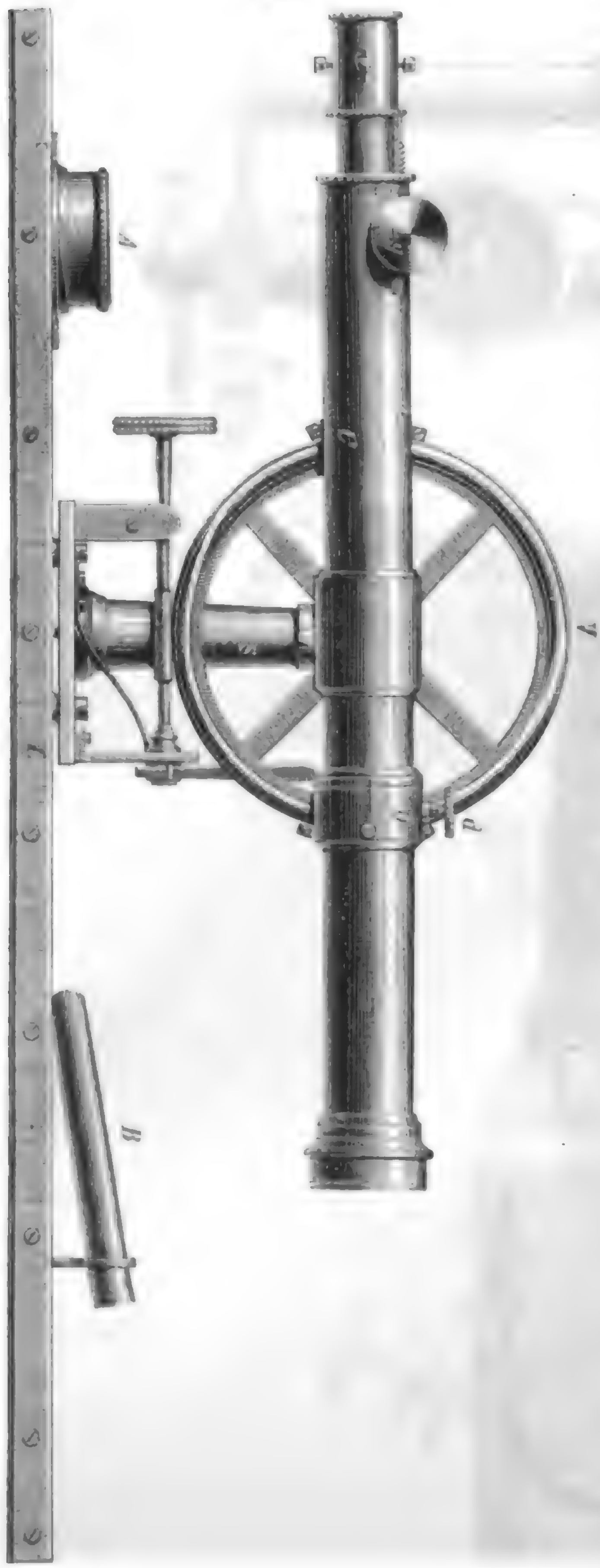


Fig. 147.



Weise angewandt wird. Zieht man daher die Mutter K ganz an und löst die Prefsschraube h_1, so wie die Mikrometerschraube J, so läfst sich das Fernrohr leicht und sicher umlegen, oder auch in eine dem Durchschlagen entsprechende Lage bringen.

Zum Horizontalstellen der Fernrohrachse und somit der Mefstischplatte dient die Röhrenlibelle L, welche durch zwei auf den Achsenlagern liegende Deckplatten vor dem Herunterfallen während der Einstellungen gesichert ist.

Das zum Distanzmefsen eingerichtete Fernrohr hat zu diesem Zwecke ein Ramsden'sches Ocular mit einer Mikrometerschraube M, wodurch ein Fadenkreuz gegen die drei mit zum Distanzmefsen dienenden festen Horizontalfäden verschoben werden kann, dessen nähere Einrichtung aber erst im §. 308. gegeben wird. Es hat 13 Zoll Brennweite, 18 Linien Oeffnung und eine 25malige Vergröfserung.

§. 301.

Die in Fig. 147. nur im Drittel der natürlichen Gröfse dargestellte, von **Frerk sen.** in Celle verfertigte Kippregel mit distanzmefsendem Fernrohr unterscheidet sich von der Meyerstein'schen nicht nur dadurch, dafs das Fadennetz

des Fernrohrs aufser dem Verticalfaden noch drei feste Fäden, aber ohne Mikrometerschraube und Schieber enthält, sondern auch dadurch, dafs das Fernrohr mit der Säule nur durch eine einseitige Drehachse verbunden ist. Da die wesentliche Einrichtung der Kippregel schon in den Figg. 65. und 66. in halber natürlicher Gröfse dargestellt und im §. 90. beschrieben ist, so soll hier nur noch Einiges nachträglich angegeben werden.

Der mit dem Fernrohr *C* rotierende Verticalkreis *V* ist nach Quadranten in Drittelgrade getheilt, seine beiden an der Säule *S* befestigten Verniers geben unmittelbar halbe Minuten an. Der Fufs der Säule enthält die nöthigen Correctionsschrauben für die Senkrechtstellung derselben; eine Drehung um ihre Achse ist nur dadurch aus freier Hand möglich, dafs die Fufsplatte für die Zugschrauben mit ovalen Löchern versehen ist.

Auf dem Lineale *L* kann die Dosenlibelle *A* in einen aufgeschraubten Ring gesteckt werden. Durch *B* werden zwei hinter einander liegende Holzbüchsen zur Aufnahme der Bleifedern bezeichnet.

Um das Fernrohr zur Bestimmung und Verbefserung des Collimationsfehlers durchschlagen zu können, enthält die vordere Hälfte des Objectivrohrs bei *D* sowohl nach Aufsen, als nach Innen einen Ring mit einer kleinen Prefsschraube *d*. Das Rohr ist daselbst so durchschnitten, dafs mittelst des inneren Ringes der vordere Theil des Rohrs abgezogen, aber auch nach erfolgtem Durchschlagen durch Aufschieben leicht wieder mit dem anderen Theile verbunden werden kann. Zum Abziehen löst man die Prefsschraube *d*. Damit die beiden getrennten Theile wieder in ihre richtige Lage kommen, findet sich auf jedem ein feiner Strich δ eingerifsen, die beide wieder in eine Richtung zu bringen sind. Schliefslich wird das Schräubchen *d* wieder angezogen.

Durch den Getriebekopf *g* kann das Ocularrohr leicht auf den einzuvisierenden Punkt gestellt werden.

§. 302.

Schliefslich ist in den Figuren 148. und 149. noch eine von dem verstorbenen Mechaniker Hohnbaum hieselbst construierte Kippregel im Drittel der natürlichen Gröfse dargestellt, bei welcher hinsichtlich der Lage des Fernrohrs wieder das in den Figg. 145. und 146. dargestellte Princip befolgt ist. Das Fernrohr enthält nur ein einfaches Fadenkreuz, ist daher nicht zum Distanzmefsen eingerichtet. Da die Einrichtung des Apparats sogleich aus den Figuren sich ergiebt, eine vollständige Beschreibung daher überflüfsig ist, so mag nur noch bemerkt werden, dafs die Drehung der Säule *A* auf dem Lineale *B* mittelst der Schrauben $\alpha\alpha_1$ erst dann ausgeführt werden kann, nachdem die Zugschrauben $\beta\beta\beta$, womit die Fufsplatte *b* auf dem Lineale befestigt ist, etwas gelüftet sind und dafs sie nach erfolgter Drehung wieder fest angezogen werden müfsen.

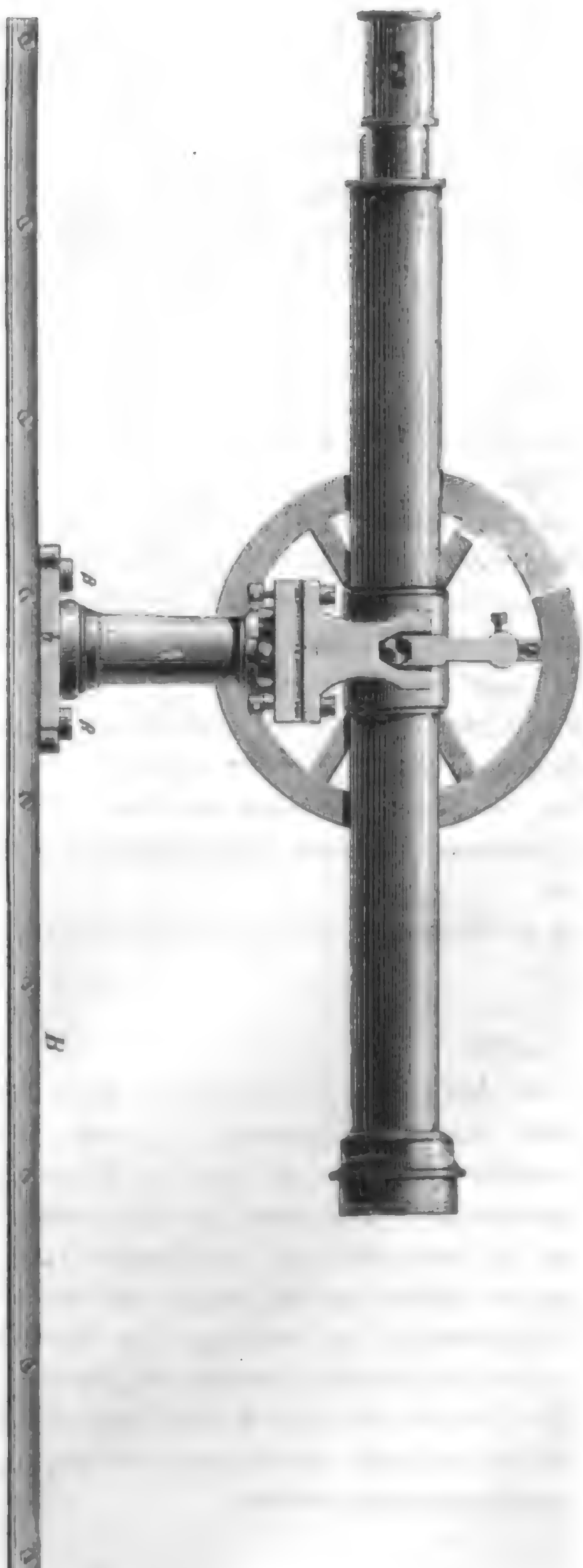


Fig. 148.

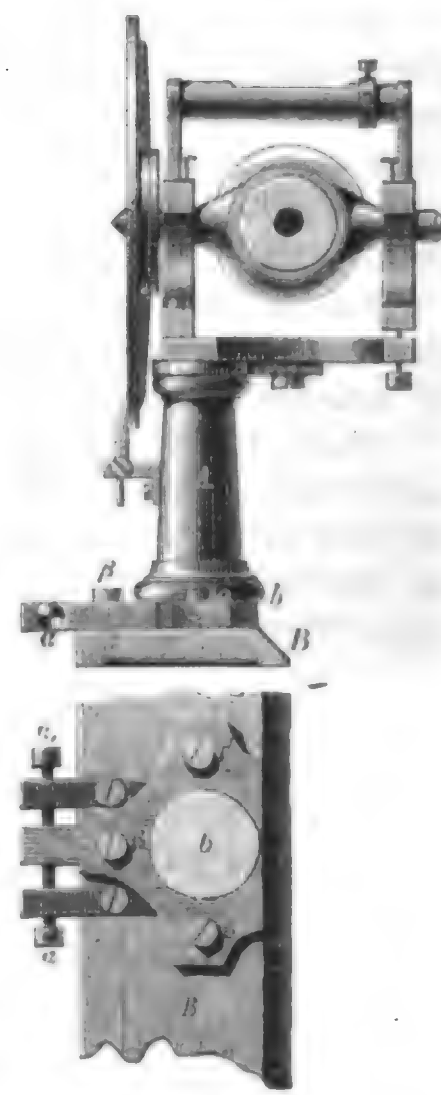
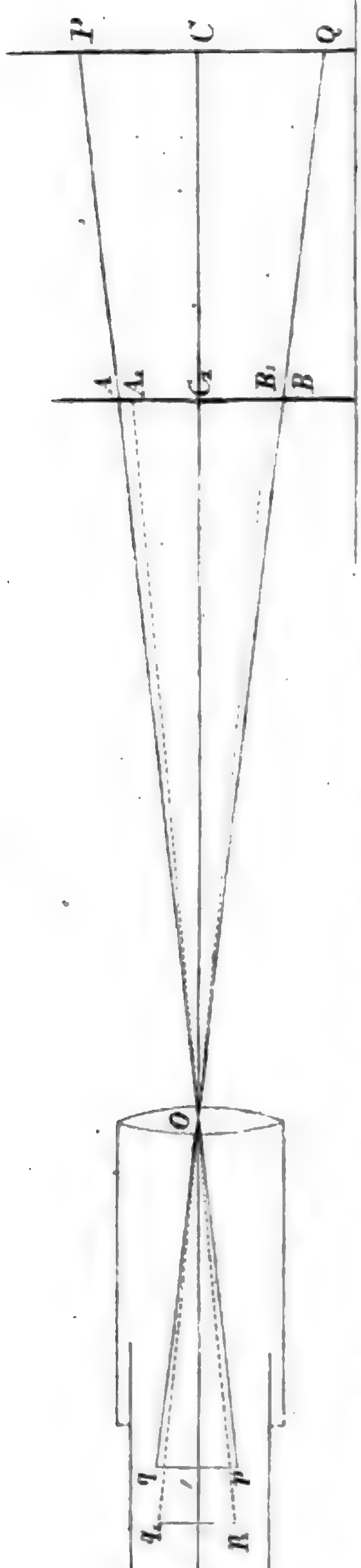


Fig. 149.

Fig. 150.



Das distanzmefsende Fernrohr der Kippregel des Mefstisches.

§. 303.

Obgleich, streng genommen, das distanzmefsende Fernrohr, als Werkzeug für Linienmefsungen erst in dem dritten Abschnitte dieser ersten Abtheilung seine Stelle finden sollte, so erscheint es doch um so mehr gerechtfertigt, dasselbe schon hier einer genaueren Betrachtung zu unterwerfen, als es bei den Mefstischaufnahmen vorzugsweise seine Anwendung findet.

Die Theorie desselben beruht auf dem optischen Satze, dafs die Entfernungen desselben Gegenstandes sich umgekehrt verhalten, wie die Tangenten der zugehörigen halben Sehwinkel.

Es seien in Fig. 150. P und Q zwei Theilstriche einer eingetheilten, aufrecht gestellten Latte, O der optische Mittelpunkt des Objectivs eines Fernrohrs, das in einer solchen Entfernung von PQ sich befinden mag, dafs die Ebene des Bildes pq durch den Brennpunkt des Objects geht. Sind nun auf dem Diaphragma des Oculars zwei Horizontalfäden aufgezogen, die durch p und q gehen und werden die Theilstriche P und Q zugleich durch die Fäden p und q gedeckt, so wird von denselben ein durch die Hauptstrahlen pP und qQ erzeugter unveränderlicher Sehwinkel $pOq = POQ$ gebildet. Behält nun das Fernrohr seine ursprüngliche Lage, wird dagegen die Latte demselben nach C_1 genähert, so werden die Fäden p und q scheinbar ein Stück AB auf derselben abschneiden, welches das Mafs für die Entfernung OC_1 ist, wenn PQ das Mafs für den ursprünglichen Abstand OC war.

Da nun

$$OC_1 = \frac{AB}{PQ}\, OC$$

ist, so ergiebt sich die Entfernung OC_1 aus der abgelesenen Länge AB, wenn OC und PQ bekannt wären, woraus also hervorgeht, dafs ein Fernrohr, dessen Diaphragma zwei von der Achse gleich weit abstehende Horizontalfäden enthält, in

Verbindung mit einer eingetheilten Latte, auf welcher der Abstand PQ oder AB als Standlinie erscheint, zur Bestimmung von Entfernungen dienen kann. Ein so eingerichtetes Fernrohr wird ein distanzmefsendes Fernrohr oder ein Distanzmefser genannt.

§. 304.

Bliebe die Ebene des Bildes pq für alle Entfernungen von der Latte in der nämlichen Lage, so würde die Eintheilung derselben eine gleichmäfsige sein können, und stimmte die Zahl der Theile von P bis Q mit der Zahl der Einheiten irgend eines Längenmafses, z. B. Ruthen, für den Abstand OC überein, so würde die Zahl der Theile zwischen A und B auch die Zahl der nämlichen Einheit für OC_1 darstellen. Bezeichnet man wieder die Brennweite des Objectivs eines Fernrohrs durch b, den Abstand des leuchtenden Punktes durch d und die Vereinigungsweite durch δ, so erhält man, da aus

$$\frac{1}{b} = \frac{1}{d} + \frac{1}{\delta}$$

sich ergiebt:

$$\delta = \frac{bd}{d - b}$$

für den Abstand von 100 Ruthen und für ein Fernrohr von 15 Zoll Brennweite, $\delta = 15{,}01$ Zoll, für den Abstand von 30^0 aber $\delta = 15{,}04$ Zoll, also schon einen mefsbaren Unterschied, der aber um so bedeutender wächst, je geringer d ist. Kommen also durch den Auszug der Ocularröhre die Fäden pq in die Lage $p_1 q_1$, so erhält man einen kleineren Sehwinkel $p_1 O q_1$ und liest daher auf der Latte eine Länge $A_1 B_1$ ab, welche kleiner ist, als AB. Es darf daher die Eintheilung nicht gleichmäfsig sein oder, wenn sie es ist, bedarf sie bei kleinen Entfernungen vom Fernrohr einer Correction.

Man kann nun die den verschiedenen Entfernungen entsprechende Eintheilung der Latte entweder durch Rechnung, oder durch directe Beobachtungen bestimmen. Wird die Brennweite des Fernrohrs als genau bekannt vorausgesetzt, und denkt man sich die Latte in einer solchen Entfernung aufgestellt, dafs δ nahezu $= b$ wird, so kennt man $OC = d$ und $PQ = a$ und kann hieraus den Abstand α der Fäden p und q von einander durch den constanten Ausdruck

$$\alpha = \frac{a \cdot b}{d - b}$$

finden. Für jede andere Entfernung $OC_1 = d_1$ kann man daher auf dieselbe Weise das zugehörige α_1 ($= A_1 B_1$) und daher auch den Unterschied von AB bestimmen. Da aber die Brennweite selten genau genug bekannt ist, so wählt man meistens den Weg der directen Beobachtungen, wie im §. 307. beschrieben wird.

§. 305.

Das Fadennetz des Distanzmefsers besteht gewöhnlich aus einem Verticalfaden und aus drei gleich weit von einander entfernten Horizontalfäden. Von

den letzteren dienen die beiden äufseren zum Distanzmefsen, der mittlere mit dem Verticalfaden aber zum Einvisieren. Die Entfernung der Horizontalfäden von einander richtet sich theils nach dem Maximum der Entfernung, theils nach der Güte des Fernrohrs.

Auch hat das Fernrohr entweder unbewegliche, feste, oder verschiebbare Fäden. In dem ersten Falle sitzen die beiden äufseren Horizontalfäden auf demselben flachen Ringe, auf welchem das eigentliche Fadenkreuz (der mittlere Horizontal- und der Verticalfaden) sich befindet. Im zweiten Falle aber sitzen, wie Figg. 29. und 30. zeigen, die genannten Fäden auf der Unterfläche

Fig. 29

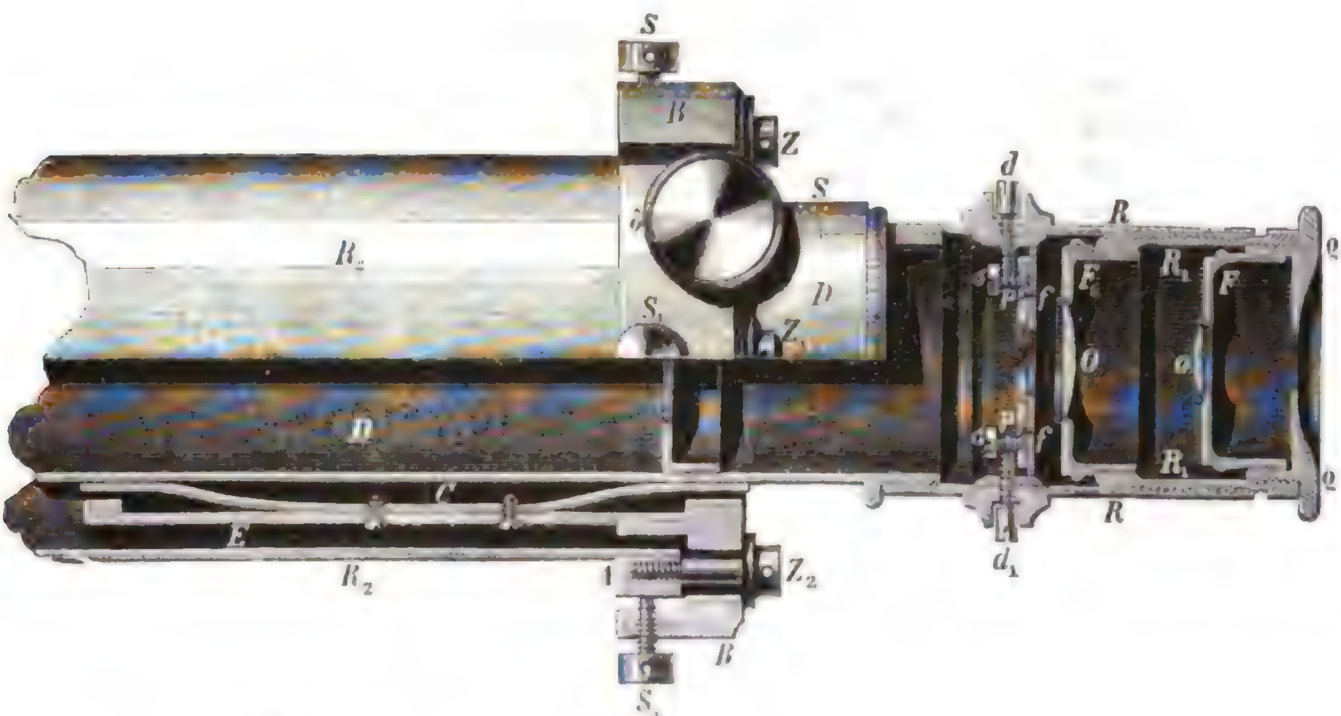


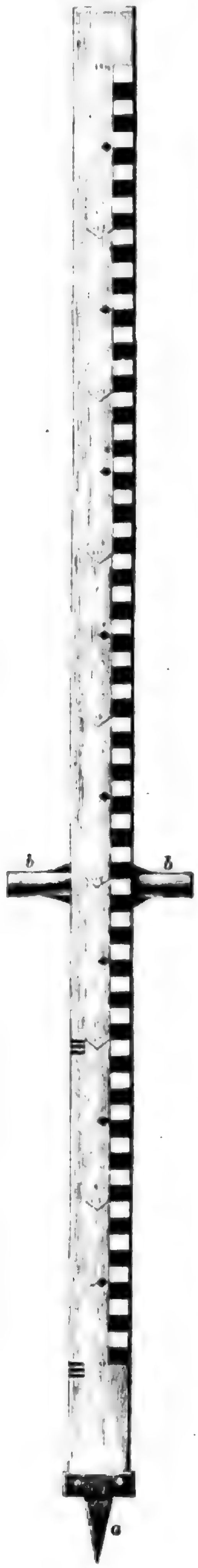
Fig. 30.



der beiden Schieber pp, welche auf dem Ringe f für das mittlere Kreuz längs der kreissegmentartig geformten Platten $\pi\pi$ mittelst der Stellschrauben dd_1 und durch die Spannung der gegen zwei Schräubchen $\sigma\sigma$ tretenden Stahlfeder $\varphi\varphi$ sich verschieben lafsen.

Diese Einrichtung bietet freilich den Vortheil dar, dafs die äufseren Horizontalfäden für alle Distanzlatten gestellt werden können; auch beim Zerreifsen des einen Fadens, der neue, wenn er auch nicht genau die Stelle des vorigen erhalten hat, durch den betreffenden Schieber in die richtige Lage gebracht werden kann; allein durch weite Transporte geben die Stellschrauben oft etwas nach, wodurch die Stellung der Fäden dann verändert wird. Aufserdem erfordert die Anwendung eines Distanzmefsers

Fig. 151.



mit verschiebbaren Fäden für jede anders getheilte Latte eine weitläufige Correction. Dagegen gestattet ein Fernrohr mit festen Fäden auch nur die Anwendung derjenigen Distanzlatte, welche für dasselbe getheilt wurde.

§. 306.

Die Distanzlatte verfertigt man aus gut ausgetrocknetem Fichten- oder Tannenholze von etwa 5 Zoll Breite und 3/4 Zoll Dicke. Die Länge richtet sich nach dem Abstande der Horizontalfäden von einander und nach dem Maximum der zu bestimmenden Entfernung, welche wiederum von der Güte des Fernrohrs abhängig wird.

Unten ist sie, wie die in Fig. 151. im Fünfzehntel der natürlichen Gröfse dargestellte Latte zeigt, mit einem eisernen Schuh *a* und in etwa 4 Fufs Höhe mit 2 Handgriffen *bb* versehen. An der Hinterfläche befindet sich ein Loth zum Verticalstellen, oder Statt dessen an der einen Seitenebene ein Visier mit normal auf der Kante der Latte stehender Visierlinie. Mit demselben wird nach dem Objectiv des Distanzmefsers gezielt, um der Latte immer einerlei Neigung gegen die Sehlinie zu geben. Längere Latten richtet man zum Zusammenlegen oder Zusammenschieben ein.

§. 307.

1. Zur Eintheilung einer Distanzlatte bei einem Distanzmefser mit festen Fäden bezeichnet man den, etwa in 1 Fufs Entfernung vom Ende der Latte angenommenen Nullpunkt auf erkennbare Weise, mifst auf einer ebenen Fläche eine Länge von 5 Ruthen ab, stellt an dem Ende dieser Linie die Latte entweder lothrecht oder mit dem Visier nach dem Objectiv des Fernrohrs gerichtet auf, richtet den einen Horizontalfaden auf den markierten Nullpunkt und läfst ein auf der Latte verschiebbares Zeichen dahin bringen, wohin der andere Faden zeigt, und bemerkt den Punkt auf der Latte nebst der bezeichnenden Ziffer. Auf dieselbe Weise markiert man die Theile für 6, 7 . . . 10 Ruthen Entfernung; von da an aber nur alle 5 oder 10 Ruthen-Abstände. Dann untersucht man die erhaltene Theilung nochmals mit dem Zirkel, gleicht auch noch kleine Unregelmäfsigkeiten aus und theilt darauf noch von Ruthe zu Ruthe ein. Endlich läfst man die Latte durch Anstrich mit Oelfarbe, wie Fig. 150.

zeigt, die sich auf die in Fig. 147. dargestellte Kippregel bezieht, ausführen. Zum Ablesen der Zehntel-Ruthen bei zu bestimmenden Entfernungen dienen die seitwärts angegebenen Theilungen.

2. Will man einen Distanzmefser mit verschiebbaren Fäden nach einer nach dem Vorhergehenden construierten, oder auch gleichmäfsig eingetheilten Latte, die z. B. für 80 Ruthen Entfernung eingetheilt ist, justieren, so stelle man sich mit dem ersteren in dem einen Endpunkte der 80 Ruthen langen Linie, mit der Latte in dem anderen Endpunkte auf, richte den mittleren Horizontalfaden auf das Zeichen 40 ein und bringe mittelst der Stellschrauben dd_1 (Fig. 30.) die beiden anderen Fäden auf 0 und 80. Darauf läfst man die Latte von 5 zu 5, oder von 10 zu 10 Ruthen der gemefsenen Linie aufstellen, liest jedesmal die Distanz an der Latte ab und trägt sie in eine Tabelle. Dann ist nach den Angaben in der Tabelle jede auf der Latte durch die äufseren Fäden abgeschnittene Länge zu verbefsern, um die wirkliche Distanz zu erhalten.

§. 308.

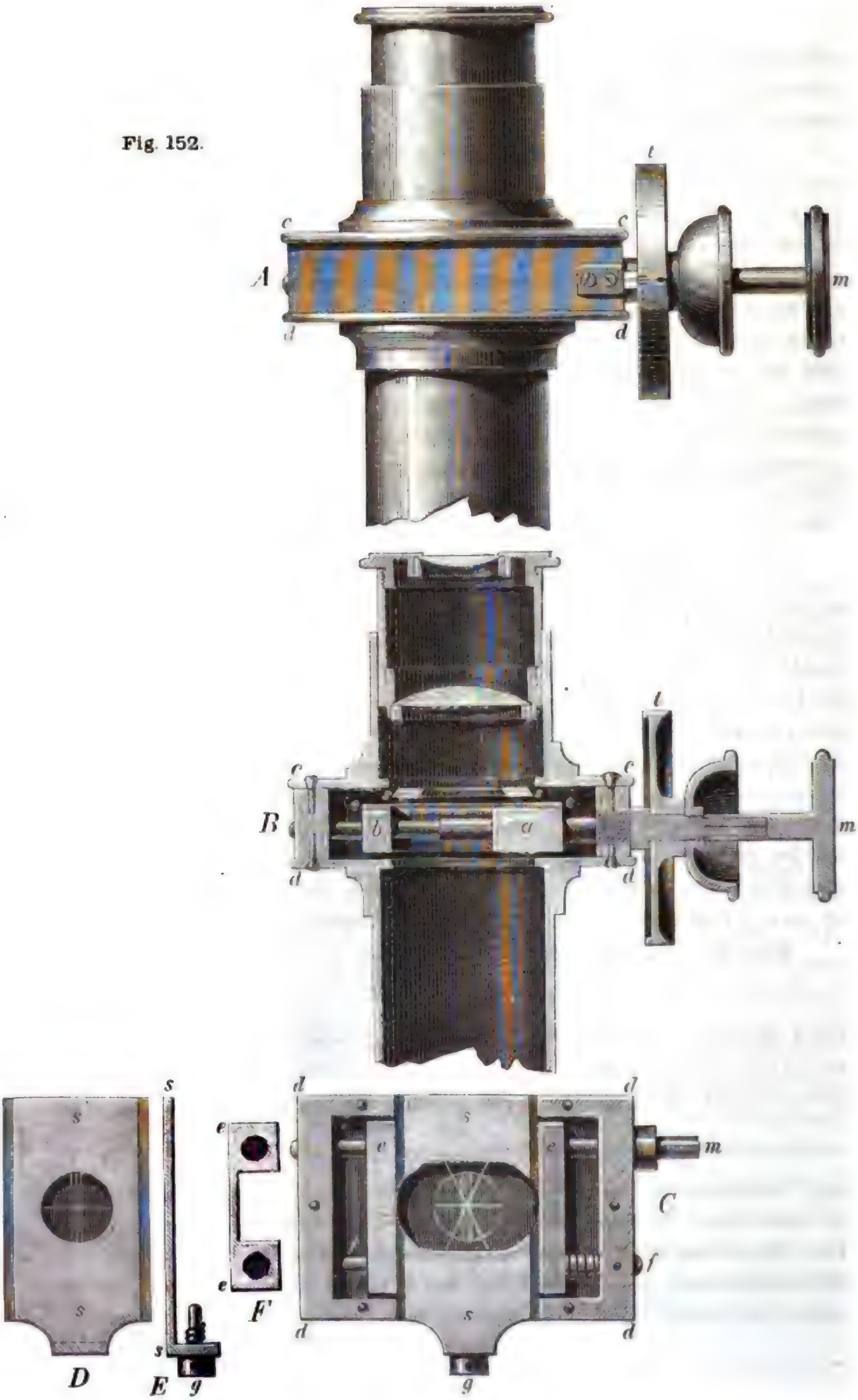
Die Distanzmefsung mit den in dem Vorhergehenden beschriebenen Distanzmefsern mit ihren eingetheilten Latten kann begreiflicherweise nur dann richtige Resultate geben, wenn bei vorausgesetzt entsprechender Güte des Fernrohrs sowohl die Einstellung der Horizontalfäden auf die Latte, als auch die Eintheilung der lezteren möglichst richtig ist. Da aber bei der Bestimmung der Theilstriche, mit Ausnahme derer für die ersten 5 bis 10 Ruthen, nur Intervalle von 10 zu 10 Ruthen durch directe Einstellung, die einzelnen Ruthenstriche aber durch weitere mechanische Eintheilung der 10 Ruthen Intervalle bestimmt werden, so darf kaum eine fehlerfreie Bestimmung der Lattenstriche angenommen werden. Dafelbe gilt aber auch von den Distanzmefsungen mittelst der gleichmäfsig eingetheilten Latten, da dieselben zwar weniger von der Eintheilung, als von der im vorigen Paragraphen erwähnten Differenzbestimmung abhängig sind.

Nach dem im §. 303. angegebenen Ausdrucke

$$OC_1 = \frac{AB}{PQ}\, OC$$

hängt aber die Bestimmung jeder beliebigen Entfernung, aufser von der, mit der Beschaffenheit des Fernrohrs stets im Einklange stehenden und immer mit gehöriger Schärfe zu bestimmenden Maximalentfernung OC, noch von der möglichst genauen Bestimmung des Quotienten $\frac{AB}{PQ}$ ab. Kann also diese Bestimmung ohne eine Eintheilung der Latte, durch eine mikrometrische Mefsung geschehen, so ist einleuchtend, dafs diese dann vor den oben erwähnten den Vorzug verdient. Dazu besitzt aber die im §. 300. beschriebene Meyerstein'sche Kippregel mit dem Mikrometer-Ocular, welches durch Fig. 152. in wahrer Gröfse dargestellt wird, die nöthige Einrichtung. Da die Construction der Mikrometerschraube mit dem Fadennetz-

Fig. 152.



Schieber im Wesentlichen mit der des Schraubenmikroskops (§. 65. und Figg. 43. und 44.) übereinstimmt, so sollen hier nur die zum Distanzmefsen erforderlichen, von den früheren abweichenden Einrichtungen angegeben werden.

Fig. 152. *A* bezeichnet die vordere Ansicht des Oculars mit der den Schieber bewegenden Mikrometerschraube *m* und der 100 gleiche Theile enthaltenden Trommel *t*; *ccdd* stellt den Kasten für das Fadennetz, *B* den Durchschnitt desselben, parallel mit der Achse des Fernrohrs, dar. *a* ist der Klotz des Schiebers für die Mutter der Mikrometerschraube *m*, *b* der Klotz für die sichere Führung derselben, deren Stützpunkt in der Seitenwand des Kastens *ccdd* liegt. Die auf dem Schieber befestigte Platte *ee* trägt auf ihrer Oberfläche das zum Distanzmefsen erforderliche Andreaskreuz. *ss* bezeichnet die Platte, auf deren Unterfläche die drei Horizontalfäden mit dem sie durchschneidenden Verticalfaden ausgespannt sind.

Durch *C* wird die obere Ansicht des Kastens mit abgenommener Ocularplatte *cccc*, von welchem daher die Wände mit der Bodenplatte *dddd* sichtbar sind, dargestellt. *m* bezeichnet einen Theil der Mikrometerschraube, *ff* den Führungsstift mit der ihn umgebenden Spiralfeder, *ss* die Platte für das feste Fadennetz, *ee* einen Theil der Schieberplatte für das Andreaskreuz, und *g* die zur Wegschaffung des Collimationsfehlers des Fernrohrs dienende Correctionsschraube.

Die Figur *D* stellt die obere Ansicht, *E* die seitliche Ansicht der Fadennetzplatte *ss*, letztere auch die Correctionsschraube *g* dar; *F* endlich bezeichnet den Querschnitt der Schieberplatte *ee*.

§. 309.

Die zu diesem distanzmefsenden Fernrohre erforderliche Latte bedarf, wie schon erwähnt, keiner Eintheilung, sondern nur der Angabe der beiden Striche *P* und *Q* (Fig. 150.), auf welche bei dem Maximalabstande, z. B. 80 Ruthen, vom aufgestellten Fernrohre, die von den beiden äufseren Horizontalfäden ausgehenden Hauptstrahlen pP und qQ projiciert werden. Bringt man also bei irgend einem kleineren Abstande der Latte den einen der äufseren Horizontalfäden, also den Punkt B oder B_1 auf den Nullpunkt Q der Latte, so wird auf dem Bilde derselben ein Abstand PA oder PA_1 dargestellt, der mit Leichtigkeit durch Umdrehung der Mikrometerschraube *m* nach Trommeltheilen gemefsen werden kann, woraus also auch AB oder A_1B_1 sich ergiebt. Giebt man daher der Mikrometerschraube zum Abstande PQ auf der Latte eine solche Einrichtung, dafs eine bestimmte Anzahl voller Umdrehungen, oder nur ein bestimmtes Vielfaches eines einfachen aliquoten Theils der Trommel dem Abstande PQ zugehören, so berechnet sich auf eine sehr einfache Weise auch der Quotient $\frac{AB}{PQ}$, mithin

aus seiner Multiplication mit dem zu PQ gehörigen Maximalabstande OC auch leicht die Distanz der aufgestellten Latte vom Standpunkte des Fernrohrs.

Anmerkung. Eine vollständige Beschreibung des Münchener oder Reichenbach'schen Distanzmefsers, schon im §. 50. erwähnt, findet man S. 278 u. f. in Bauernfeind's Elementen der Vermefsungskunde, 2. Aufl. I. München 1862.

Die Fehler der Mefstisches und ihre Berichtigung, so wie sein Gebrauch zu Winkelbestimmungen.

§. 310.

1. Berichtigung der Dosen- oder Röhrenlibelle zur Horizontalstellung der Mefstischplatte.

Für die Dosenlibelle wird das im §. 31. angegebene Verfahren angewandt, in Bezug auf die auf der Kippregel stehende Röhrenlibelle ist das im §. 174. angegebene Verfahren anzuwenden.

2. Prüfung der Oberfläche der Mefstischplatte und ihrer normalen Lage gegen den Verticalzapfen der Horizontalrotationsvorrichtung.

Die Prüfung der Oberfläche der Mefstischplatte wird auf bekannte Weise mittelst eines richtigen Lineals vorgenommen; etwa vorkommende Unebenheiten können nur durch Abhobeln derselben beseitigt werden.

Ob die Oberfläche der Mefstischplatte eine normale Lage gegen die Verticalachse des Dreifufses oder der Nufs hat, erfährt man am besten durch Anwendung der Kippregel. Man lege dieselbe an eine etwa durch die Mitte der Mefstischplatte gezogene Gerade und richte das Fadenkreuz des Fernrohrs auf einen entfernten, scharf markierten Gegenstand. Ohne nun die Lage des Fernrohrs gegen das Lineal zu ändern, lege man letzteres an die andere Seite der Geraden und drehe die Mefstischplatte um 180° herum. Wird derselbe Punkt wieder vom Fadenkreuz getroffen, so steht die auf der Mefstischplatte gezogene Gerade normal zur Verticalachse. Wird aber ein höher oder tiefer liegender Punkt von dem Fadenkreuz getroffen, so kann nur die Hälfte des Fehlers an den betreffenden Stellschrauben der Horizontalvorrichtung verbefsert werden. Zur Verbefserung der anderen Hälfte finden sich wohl an der Scheibe, auf welcher die Platte durch Knopfschrauben befestigt ist, eigene Correctionsschrauben, auf deren abgerundeten Enden die Platte liegt und durch deren Verstellung auch eine Veränderung der Lage der Platte erreicht werden kann. In Ermangelung derselben aber kann man nur durch Abhobeln der Oberfläche der Platte den Fehler beseitigen. Dasselbe Verfahren wird dann noch an einer Linie wiederholt, die auf der zuerst gezogenen normal steht. Schliefslich mufs dann die einspielende Luftblase der Libelle während der ganzen Umdrehung der Platte ihren Stand unverändert beibehalten.

3. Die Horizontalstellung der Meſstischplatte

durch eine aufgesetzte Dosen- oder Röhrenlibelle oder durch die Röhrenlibelle der Kippregel ergiebt sich aus dem Vorhergehenden ohne Weiteres.

§. 311.

4. Die Prüfung der Visierkante des Lineals als gerade Linie

darf als bekannt vorausgesetzt werden. Ein dabei sich zeigender Fehler stellt das Lineal als unbrauchbar dar und muſs daher vom Mechaniker verbeſsert werden.

5. Prüfung des Parallelismus der Visierebene mit der Kante des Lineals.

1. Man ziehe auf der Meſstischplatte eine gerade Linie, befestige in derselben an den Kanten der Platte zwei feine Nadeln in senkrechter Lage und drehe die Platte, bis die durch die Nadeln gelegte Ebene durch ein entferntes deutliches Object geht, wobei selbstverständlich die Einstellung mittelst des Mikrometerwerks ausgeführt wird. Legt man nun an die gerade Linie die Kante des Lineals und kann die Visierlinie durch geringe Drehung des Fernrohrs auf denselben Punkt gebracht werden, so geht die Visierebene durch die Linealkante. Eine sich zeigende Abweichung wird durch die Correctionsschrauben, die an dem Fuſse der Säule zu diesem Zwecke angebracht sind, verbeſsert wie in Figg. 145. und 146. durch die Schrauben β_1 und β_2.

2. Zweckmäſsiger ist aber folgendes Verfahren. Man stecke auf dem Felde eine Gerade AB ab, stelle sich mit dem Meſstisch in einem Punkt C derselben, zwischen A und B auf, bringe nach §. 314. den Punkt c senkrecht über C und ziehe durch c eine Gerade acb in der Richtung ACB. Nun legt man an ab die Kippregel, richtet das Fadenkreuz des Fernrohrs durch Hülfe des Mikrometerwerks auf A und legt nun die Kippregel an die andere Seite der Linie ab. Trifft dann das Fadenkreuz auf B, so geht die Visierebene des Fernrohrs auch durch die Visierkante. Eine Abweichung wird, wie in 1. angegeben ist, verbeſsert.

§. 312.

6. Berichtigung der Stellung des Fadenkreuzes und des Collimationsfehlers des Fernrohrs.

Ueber die Stellung des Fadenkreuzes vergleiche man §. 271, 1. Zur Berichtigung des Collimationsfehlers kann man wieder das in §§. 177. und 223, 1. beschriebene Bessel'sche oder Bohnenberger'sche Verfahren nach der verschiedenen Einrichtung der Kippregeln anwenden. Läſst sich das Fernrohr bequem durchschlagen, oder, wie die in Fig. 147. dargestellte Kippregel, doch mittelbar zum Durchschlagen einrichten, so bedarf man für das Bessel'sche oder Bohnenberger'sche Verfahren entweder zweier Hülfsfernröhre, oder eins derselben und für das andere ein deutliches Object.

Oder man legt die Kippregel wieder an eine auf der Mefstischplatte gezogene gerade Linie und richtet das Fadenkreuz auf ein entferntes Object. Dann schlägt man das Fernrohr durch und legt die Kippregel, bei unveränderter Lage der Mefstischplatte, an die andere Seite der geraden Linie. Zeigt dann das Fadenkreuz auf das nämliche Object, so steht die Umdrehungsachse des Fernrohrs normal zu seiner Collimationslinie. Im Gegentheil ist ein Collimationsfehler vorhanden.

Bei den in den Figg. 145. und 146., so wie 148. und 149. dargestellten Kippregeln wendet man noch einfacher das im §. 223, 2. angegebene Verfahren an, wobei nur vorausgesetzt wird, dafs die beiden Zapfen der Rotationsachse gleichen Durchmefser haben.

Bei den gewöhnlichen Kippregeln geschieht die Berichtigung mittelst der kleinen Stellschräubchen für die Fadenkreuzplatte, bei der Meyerstein'schen Kippregel (Figg. 145. und 146.) dagegen wendet man die Schraube *g* in Fig. 252. *E* und *F* an, wodurch die Platte *ss*, welche die drei Horizontalfäden und den senkrechten Faden trägt, gegen die Ocularröhre verstellt werden kann.

Anmerkung. Ist das Fernrohr der Kippregel aber weder zum Durchschlagen, noch zum Umlegen eingerichtet, wie es bei den meisten älteren Constructionen der Fall ist: so bleibt für den ersteren Fall nichts weiter übrig, als die Schraube zu lüften, durch welche die Fernrohrachse in ihrer Hülse festgehalten wird, um nun das Fernrohr um 180° drehen zu können. Nach der Berichtigung ist dann die ursprüngliche Lage und die Befestigung wieder herzustellen.

§. 313.

7. Berichtigung der nicht parallelen Lage der Umdrehungsachse des Fernrohrs mit der Mefstischplatte.

Man richte nach dem im §. 220, 3. *a* angegebenen Verfahren das Fadenkreuz des Fernrohrs der auf die festgestellte Mefstischplatte gesetzten Kippregel auf ein möglichst hoch gelegenes Object *A* und bemerke auf einer gegenüber liegenden Wand oder einem anderen Gegenstande den Punkt *B*, auf den das Fadenkreuz beim Niederbewegen der Kippregel zeigt. Dann schlage man das Fernrohr durch, bringe die Kippregel in die entgegengesetzte Lage und richte das Fadenkreuz wieder auf *A*. Wird dann beim Niederbewegen der Kippregel, *B* wieder vom Fadenkreuz getroffen, so ist die Rotationsachse des Fernrohrs der Mefstischplatte parallel. Kommt das Fadenkreuz aber auf den Punkt B_1, so zeigt der Abstand BB_1 den doppelten vorhandenen Fehler an. Bei den Kippregeln mit nur einseitiger Rotationsachse, wie bei der in Fig. 147. dargestellten, wird die Hälfte desselben an der am Fufse der Säule angebrachten Correctionsschraube verbefsert, indem man nach den verschiedenen Umständen die vorhandenen Zugschrauben entweder etwas lüftet und die Stellschraube anzieht, oder letztere löst und dafür die ersteren anzieht. Bei den Kippregeln mit zweiseitiger Umdrehungsachse dagegen wird die Verbefserung an dem beweglichen Achsenlager wie beim Theodolith vorgenommen.

Man kann den in Rede stehenden Fehler nach §. 220, 3. *b* auch entdecken, wenn man das Fadenkreuz längs eines senkrecht aufgehangenen, mit einem Gewichte beschwerten Fadens bewegt, wobei das Fadenkreuz stets das Bild des Fadens decken mufs. Oder man richte nach §. 220, 3. *c* wieder das Fadenkreuz auf ein hoch liegendes, scharf markiertes Object *a* und bringe zwischen dieses und den Mefstisch einen Quecksilberhorizont, wofür auch bei ruhiger Luft ein ganz mit Wafser gefülltes Gefäfs genommen werden kann, dafs das reflectierte Bild von *a* von dem Beobachter wahrzunehmen ist. Trifft dann beim Niederbewegen des Fernrohrs das Fadenkreuz auf das Bild von *a*, so bewegt sich die Visierlinie in einer Verticalebene.

§. 314.

8. Aufstellung eines auf der Mefstischplatte gegebenen Punktes *a* über den entsprechenden *A* auf dem Felde und einer durch *a* gezogenen Geraden *ab* in die auf dem Felde gegebene Verticalebene *AB*.

Man stelle den Mefstisch mit *a* senkrecht über *A* und die Mefstischplatte nach dem Augenmafse horizontal, was theils durch Verrücken des Mefstisches oder Verschieben der Platte und durch Einlothen mittelst der Einlothgabel oder eines herabfallenden Steinchens nach und nach leicht ausführbar ist. Darauf drückt man die Füfse des Stativs fest in den Boden und verbefsert die etwaige Verrückung des Punktes *a* gegen *A* durch Verschiebung der Platte.

Dann stellt man die Platte durch die aufgesetzte Libelle mittelst der Stellschrauben genau horizontal. Nun legt man die Kippregel an *ab*, bringt durch grobe Achsendrehung der Mefstischplatte *ab* ungefähr in die Richtung (in das Alignement) *AB*, hemmt die grobe Bewegung und stellt mittelst der Mikrometerbewegung den Durchschnitt der Kreuzfäden genau auf *B*. Man sagt dann, der Mefstisch sei nach der Linie *AB* orientiert.

Anmerkung. Die Orientierung des Mefstisches nach einer auf der Mefstischplatte gegebenen Linie unter anderen Bedingungen, als die oben gegebenen, kann hier nicht erörtert werden, sondern gehört zum Wesen der praktischen Geometrie.

§. 315.

9. Construction eines auf dem Felde gegebenen Winkels *ACB* auf der Mefstischplatte.

Nachdem man nach dem vorigen Paragraphen den Mefstisch mit dem Scheitelpunkte *c* senkrecht über *C* gestellt und nach *CA* orientiert hat, dreht man um *c* die Visierkante der Kippregel so weit auf der Platte herum, bis das Fadenkreuz auf den Punkt *A* gerichtet ist und zieht längs der Kante die Linie *cb*, so ist *acb* der gesuchte Winkel.

Von dem unverrückten Stande der Mefstischplatte während der Drehung der Kippregel um *c* überzeugt man sich leicht dadurch, dafs man wieder die Kippregel an *ac* legt, die behuf genaueren Anlegens gleich anfangs an den beider-

seitigen Rändern durch eine feine Linie bemerkt wurde: dann mufs das Fadenkreuz wieder genau auf A gerichtet sein. Durch diefs Verfahren wird auch die Anbringung des von Einigen empfohlenen Versicherungsfernrohrs überflüfsig. Um so weniger kann daher hierbei von der Anwendung einer s. g. Orientierboussole die Rede sein.

Anmerkung. 1. Zum bequemeren Umdrehen der Kippregel um c schlagen Einige den Gebrauch der Anschlagnadel, nämlich das Einstechen einer feinen Nadel in c vor, woran aber der Anfänger sich nicht zu gewöhnen hat.

2. Wegen der viel geringeren Genauigkeit, welchen die Winkelbestimmung mittelst des Mefstisches mit der mittelst des Theodoliths, selbst eines kleinen einfachen Theodoliths verglichen, gestattet, kann hier von dem in den §§. 258. und 259. untersuchten Einflufs der Neigung der Umdrehungsachse und des Collimationsfehlers des Fernrohrs auf die Bestimmung der Horizontalwinkel keine Rede sein. Es ist daher aber auch um so nothwendiger, die Kippregel in einer solchen Construction anzuwenden, um die erwähnten Fehler möglichst vollständig berichtigen zu können.

§. 316.

10. Bestimmung des Indexfehlers des Höhenkreises der Kippregel und Mefsung der Höhen- und Tiefenwinkel.

Diese Bestimmungen sind ganz nach den §§. 276—278. auszuführen.

11. Bestimmung einer auf dem Felde gegebenen Entfernung mittelst des Distanzmefsers.

§. 317.

In dem einen Endpunkte der zu mefsenden Linie stellt man sich mit dem Distanzmefser, in dem anderen mit der Latte auf. Richtet man nun den einen der äufseren Horizontalfäden auf den Nullpunkt der Theilung, von welcher angenommen werden mag, dafs sie für das distanzmefsende Fernrohr entworfen ist, so wird der andere der äufseren Horizontalfäden irgend einen Punkt der Eintheilung decken. Fällt derselbe mit einem der Theilstriche zusammen, so erhält man durch die unmittelbare Ablesung die gesuchte Entfernung. Liegt aber das Bild des Fadens zwischen zwei Theilstrichen, so stellt man zur Bestimmung der kleineren, also in Bezug auf Fig. 152. der Ruthentheile, mittelst der Mikrometerbewegung des Fernrohrs den Oben erscheinenden Horizontalfaden auf den nächstniedrigeren Theilstrich, so wird der vorher auf O stehende Faden in die seitlich unter O vorhandene Unterabtheilung rücken, wodurch dann den ganzen Ruthen noch die Zehntel-Ruthen zugesetzt werden können.

Sollte der untere Theil der Latte durch vorliegendes Gesträuch oder dergleichen verdeckt werden, so richtet man den Horizontalfaden Statt auf 0, auf 10 oder 20 und lafsen sich dann auf die eben angegebene Weise auch die Zehntel-Ruthen bestimmen.

Bei der Anwendung einer nicht für das distanzmefsende Fernrohr eingerichteten Latte mufs zunächst nach §. 307, 2. das Fernrohr für diese Latte justiert sein und ist dann beim Ablesen die daraus sich ergebene Tabelle zu berücksichtigen.

Das Meyerstein'sche distanzmefsende Fernrohr (Figg. 145. und 146.) richtet man mit dem einen der äufseren Horizontalfäden ebenfalls auf den Nullpunkt der Latte, bestimmt mittelst Umdrehung der Mikrometerschraube den Abstand des anderen Fadens von dem oberen Punkte der Latte in Trommeltheilen, so erhält man daraus auch den Werth der Trommeltheile von AB (Fig. 150.), woraus dann nach §. 309. die Distanz leicht bestimmt werden kann.

§. 318.

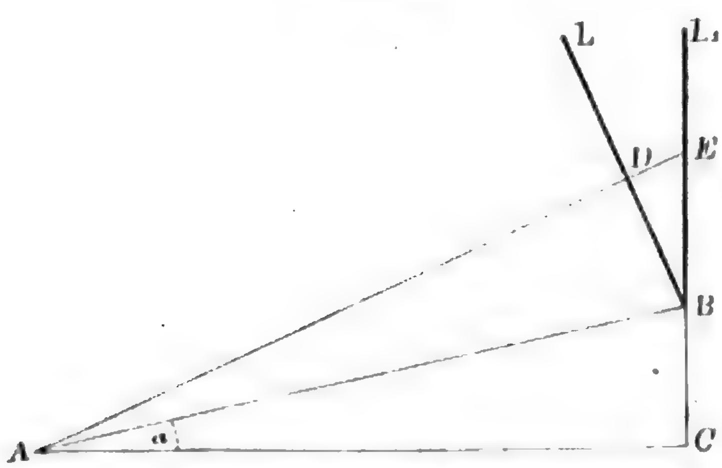
Sind die Linien, deren Länge man bestimmen soll, gegen den Horizont geneigt, so mufs, unter der Voraussetzung, dafs die Distanzlatte normal gegen die Visierlinie des Fernrohrs gerichtet ist, die abgelesene Distanz noch mit dem Cosinus des Neigungswinkels der Linie gegen den Horizont multipliciert werden. Denn ist AB in Fig. 153. die nach dem Nullpunkte gehende Visierlinie und schneidet der andere Horizontalfaden auf der Latte BL das Stück BD ab, so ist diefs das Mafs für AB und daher

$$AC = BD \, . \cos \alpha.$$

Steht aber die Latte BL_1 senkrecht auf dem Horizonte AC, so wird auf derselben das Stück BE abgeschnitten, während doch BD das Mafs für AC ist. Da man nun ohne beträchtlichen Fehler AD als normal auf BD annehmen kann, so ist $LBL_1 = \alpha$, und da $BD = BE \cos \alpha$ ist, so erhält man die auf den Horizont reducierte gemefsene Distanz durch den Ausdruck

$$AC = BE \cos \alpha^2.$$

Fig. 153.



2. Die Boussole *) und der Hängecompass des Markscheiders.

§. 319.

Die Boussole ist der Winkelmefser, mit welchem auf einem in einer Büchse angebrachten und nach zwei verschiedenen Principien eingetheilten Kreisringe der Winkel bestimmt wird, den eine auf dem Felde gegebene Richtung mit dem

*) Vom Mittellat. buxola, buxula, das Büchschen. Im Italienischen bussola.

durch einen ihrer Endpunkte gelegten magnetischen Meridiane bildet. Diefs wird dadurch erreicht, dafs auf einem in dem Mittelpunkte des Kreisringes angebrachten stählernen Stifte eine frei schwebende Magnetnadel ruht, mit deren einem Pole, gewöhnlich dem Nordpole, sobald sie zur Ruhe gekommen ist, der erwähnte Winkel abgelesen wird. Dieser Theil des Werkzeugs wird der Compass genannt. (§. 252.)

Wegen der mit dem Durchmefser des Theilkreises wachsenden Länge der Magnetnadel und der davon abhängigen gröfseren Schwierigkeit, die Magnetnadel zur Ruhe zu bringen, also wegen des daraus erwachsenden gröfseren Zeitaufwandes zum Ablesen des Abweichungswinkels, ist die Gröfse des Theilkreises nur auf bestimmte Gränzen beschränkt, weshalb der Durchmefser nicht leicht 4 Zoll überschreitet. Da nun wegen der steten Oscillationen der Magnetnadel auch von der Anwendung eines Verniers keine Rede sein kann, sondern die weitere Eintheilung der unmittelbaren Theilung des Limbus nur auf Schätzung beruht: so ergiebt sich schon hieraus, dafs von allen Winkelmefsern die Boussole nur die geringste Genauigkeit gewähren kann. Sie darf deshalb auch nur bei kleinen Aufnahmen, von deren Punkten man annehmen darf, dafs die durch sie gelegten magnetischen Meridiane parallel sind und von welchen man nur eine geringere Genauigkeit beansprucht, angewandt werden. In diesem Falle hat sie aber vor dem Mefstische den Vortheil voraus, dafs durch den von der Magnetnadel angegebenen magnetischen Meridian ihre Orientierung immer erspart wird.

Aus diesen Gründen liest man den Abweichungswinkel der gegebenen Richtungen gewöhnlich auch nur mit dem Nordpole ab, der deshalb auch, um Irrungen zu vermeiden, von dem Südpol leicht kenntlich dargestellt wird.

Um aber die wegen der meistens etwas excentrischen Befestigung des Stiftes entstehende Excentricität des Winkels zu eliminieren, mufs man der Boussole eine solche Einrichtung geben, dafs man in den Stand gesetzt wird, mit demselben Compass, mit welchem die Abweichungswinkel auf dem Felde abgelesen werden, auf dem Papiere verzeichnen zu können, nicht aber dieselben mit einem anderen Apparate, z. B. einem Transporteur aufzutragen. In dieser Hinsicht darf die Boussole nicht zu den winkelmefsenden, sondern mufs zu den winkelzeichnenden Instrumenten gezählt werden. (§. 112.)

Die Eintheilung des Kreises ist entweder die gewöhnliche in Grade und Gradtheile (etwa Drittel-Grade), oder, wie es bei den von den Markscheidern gebrauchten Boussolen noch meistens der Fall ist, in zwei Mal 12 Stunden, von denen jede wieder, je nach der Gröfse des Durchmefsers, in 8 (Achtel) oder in 16 (halbe Achtel) gleiche Theile getheilt wird. Kleinere Theile werden durch Schätzung nach dem Augenmafse bestimmt. Bei der ersteren Gradeintheilung bedarf man der Bezeichnung der Weltgegenden nicht, die aber bei der Stundeneintheilung nicht fehlen darf. Da nun der Nordpol der Magnetnadel als Index

dient, gegen welchen die Eintheilung des Theilkreises bewegt wird, so mufs die Bezeichnung der beiden Weltgegenden Ost und West auch entgegengesetzt gegen die wirkliche Lage genommen werden. Aus demselben Grunde ist auch der Theilkreis nicht von Links nach Rechts, sondern von Rechts nach Links mit wachsender Bezifferung versehen. (Vgl. Fig. 156.)

Selbstverständlich müfsen alle Theile der Boussole, bis auf die Magnetnadel und den Stift, falls sie nicht von Holz sind, von eisen- und nickelfreiem Messing oder Kupfer verfertigt sein.

§. 320.

In Fig. 154. ist eine vom Mechaniker Frerk sen. in Celle verfertigte Boussole, in halber natürlicher Gröfse, in der Seitenansicht mit einem Theile des

Fig. 154.

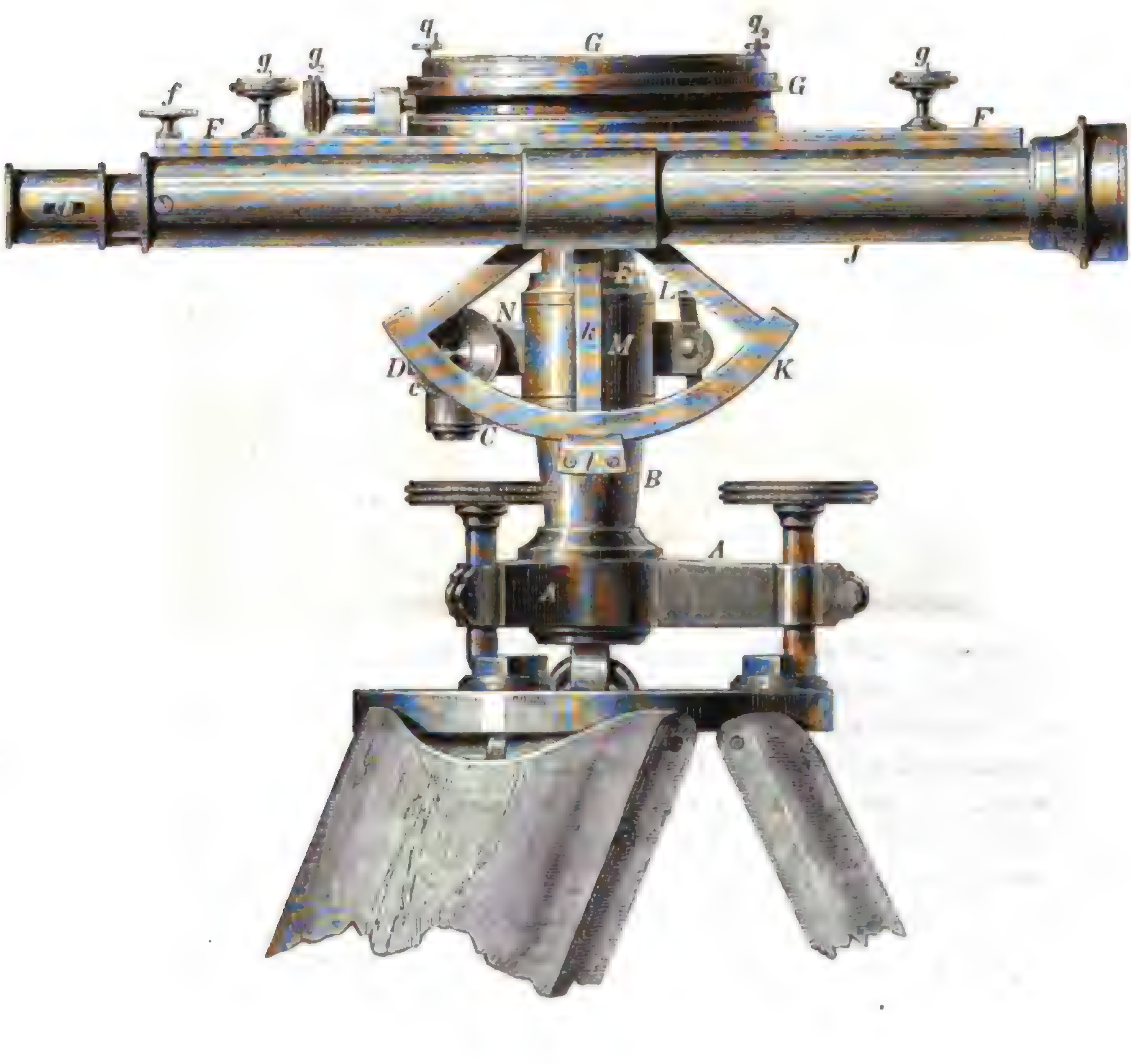
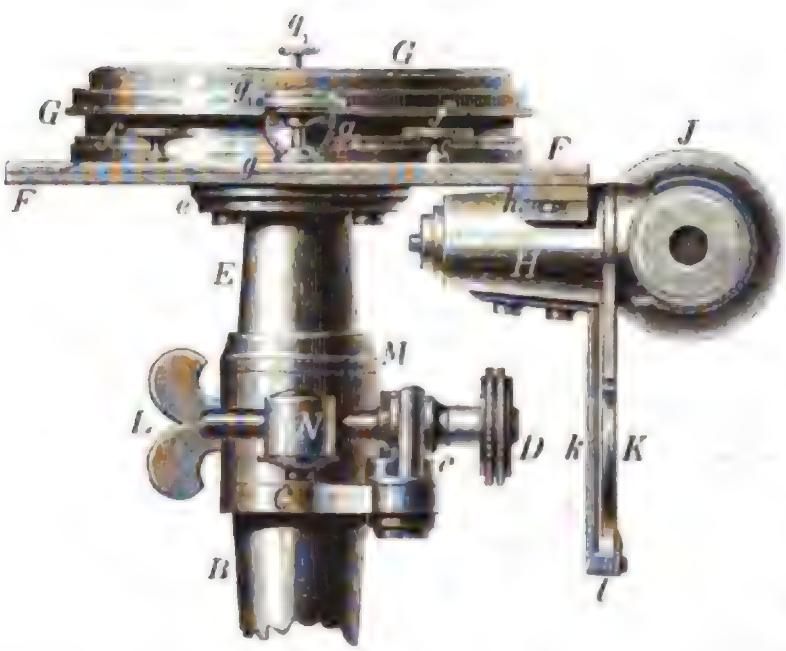


Fig. 154a.



Stativs und vom oberen Theile die vordere Ansicht, in Fig. 155. der Grundrifs der Zulegeplatte dargestellt. Die Unterlage derselben bildet ein massiver Dreifufs *A A*, der nach Oben in einen ebenfalls massiven Konus *B* ausläuft. Dieser trägt eine in einen Arm ausgehende cylindrische Platte *C* für das Lager *c* der Mikrometerschraube *D*. Zugleich geht davon ein konischer Zapfen aus, um welchen sich eine Büchse *E* zur groben Horizontalrotation des Compasses mit dem Fernrohr legt. Die Büchse trägt an ihrem

Fig. 155.



oberen Ende eine Scheibe *e*, auf welchem die rahmenförmig ausgeschnittene und mit Nuthen versehene Platte *FF*, welche die Unterlage der Zulegeplatte *g* mit der Compassbüchse *GG* bildet, mittelst Schrauben befestigt ist. Durch zwei Knopfschrauben *ff* und eine kleine Vorlegeplatte kann die Zulegeplatte in den Nuthen des Rahmens *FF* befestigt, durch Lösung derselben aber auch davon getrennt werden, um sie zum Verzeichnen, Zulegen, der gemefsenen Abweichungswinkel zu benutzen.

Unterhalb der Platte *FF* ist an einem abwärts gehenden Sattel *h* die Büchse *H* für das Fernrohr *J* befestigt, das daher in dieser seitlichen Lage bequem durchgeschlagen werden kann. Mit dem Fernrohre ist an einer Flansche ein

Höhenbogen *K* zur Bestimmung der Elevations- und Depressionswinkel verbunden, daher dessen Eintheilung vom Nullpunkte aus nach beiden Seiten mit wachsender Bezifferung versehen ist. An der Büchse *H* ist wieder ein Arm *k* befestigt, der die Platte *l* für den Vernier trägt.

Die Hemmung der groben Horizontalbewegung, so wie die feine Einstellung des Fernrohrs, ist auf dieselbe Weise wie bei dem in Fig. 142. dargestellten Mefstische ausgeführt. *L* stellt die Klemmschraube für den Klemmring *M* vor, dessen Arm *N* die Klemme für die Mutter der Mikrometerschraube *D* trägt.

Die Büchse *GG* ist mit der 8 Zoll langen und 4 Zoll breiten, rechteckigen Zulegeplatte *gg* (Fig. 155.) durch versenkte Schrauben zu einem Ganzen verbunden. Ihre längeren, abgekanteten Seiten sind mit dem durch *N* 12 und *S* 12 gehenden Durchmefser (der zwölften Stundenlinie) parallel. Die Richtung dieses Durchmefsers ist auf der Oberfläche der Zulegeplatte durch einen eingerifsenen Strich, auf dem Rande der Büchse durch zwei solcher Striche dargestellt. Der die Theilung und die Magnetnadel tragende Napf *Q* (Fig. 156.) ist in Fig. 155., als herausgenommen, nicht mit dargestellt; zur Befestigung desselben in der Büchse *GG* dient die Druckschraube g_2, welche einen in dem Rande der Büchse befindlichen Bolzen gegen den Napf treibt. Zwei auf der Zulegeplatte befindliche Knopfschrauben $g_1 g_1$ dienen beim Zulegen zum Anfafsen.

In der Mitte des Bodens des Napfes *Q* von etwa 3 Zoll innerem Durchmefser und 3/4 Zoll Höhe ruht auf einem zugespitzten Stahlstifte die Magnetnadel *m* (Fig. 156.). Diese trägt über der durchbohrten Mitte ein konisches, messingenes Hütchen, dessen Deckel aus Achat oder Carneol besteht und dessen innere Höhlung in eine konische Fläche ausläuft, wodurch die Nadel bei möglichst geringer Friction auf dem Stifte schwebt. In der Ebene der Magnetnadel liegt an der inneren Wand der Büchse der versilberte Theilring *NOSW* mit der im vorigen Paragraphen angegebenen Stundeneintheilung. Zum Schutze der Nadel und der Theilung dient eine auf dem inneren Rande der Büchse liegende und durch einen aufgelegten Ring befestigte Glasplatte.

Um den Stift nicht unnöthiger Weise abzunutzen, findet sich an dem Rande des Napfes ein Schieber mit einem Schräubchen q_1, der mit einem den Stift umgebenden Hebel *r* in Verbindung steht und wodurch, beim Transporte oder Nichtgebrauche des Werkzeugs die Magnetnadel vom Stifte abgehoben und gegen den Glasdeckel gedrückt werden kann. Man nennt diese Vorrichtung die Arretierung der Nadel.

Zur Horizontalstellung der Boussole dient eine auf die Glasplatte gesetzte Dosenlibelle.

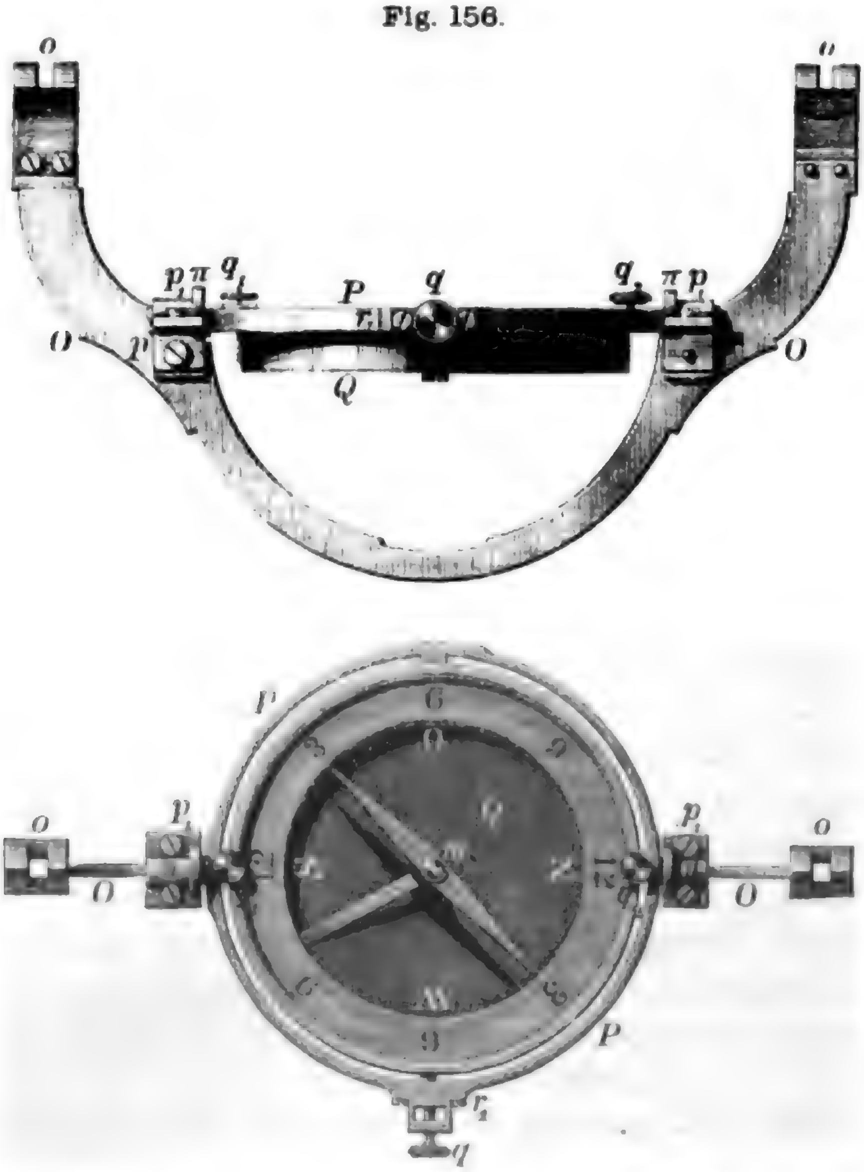
Die Unterlage des Apparats bildet ein Scheibenstativ mit messingenem Kopf, der zugleich die Ruhepunkte für die Stellschrauben des Dreifufses darbietet. Durch die bekannte Vorrichtung wird die Boussole mit demselben vereinigt.

Zum Verpacken und Transport des Instruments dient ein mit einem Tragriemen versehener Kasten.

§. 321.

Da der Hängecompass des Markscheiders, in Fig. 156. in der Seiten-Ansicht und im Grundrifs in halber wahrer Gröfse dargestellt, und mit der zuge-

Fig. 156.



hörigen Zulegeplatte von Breithaupt in Cassel angefertigt, zu seiner Unterlage zwar kein Stativ, aber doch eine aus drei feinen Messingdrähten cylindrisch zusammengedrehte Schnur (Lachterschnur, Lachterkette) hat, welche die Richtung der Stationslinien bezeichnet und deren Enden an Pfriemen, die in dem Gezimmer der Strecken oder Schächte, oder auf Spreizen, oder auf den Laufbohlen der Stollen und Strecken befestigt sind, insofern also auch eine feste Unterlage darbietet: so mufs die Beschreibung desselben hier gegeben werden.

Er besteht aus dem eigentlichen Gehänge und dem Napfe des im vorigen Paragraphen beschriebenen Compasses, der zu diesem Zwecke aus der Büchse der

Zulegeplatte entfernt und mit dem ersteren verbunden werden kann. Den einen Theil des Gehänges bildet ein halber, schmaler Ring *OO*, der sich zu einem gröfseren Durchmefser erweitert und daselbst mit zwei, nach entgegengesetzten Seiten sich öffnenden Haken *oo* zum Anhängen an die Schnur versehen ist. Er wird der Hängering genannt. Um an schief liegenden Schnüren sein Herabgleiten zu verhindern, haben die Haken Einschnitte, durch welche kleine Keile von Holz oder Knochen gesteckt werden. Der zweite Theil desselben ist der Compassring *PP*, mit dem Hängeringe so verbunden, dafs er bei senkrechter Lage des Gehänges sowohl die nöthige horizontale Lage annehmen, aber mit jenem auch, zum bequemeren Transport in der Markscheidertasche, zusammengelegt werden kann. Zu diesem Zwecke trägt der Compassring an zwei diametral gegenüber liegenden Stellen cylindrische Zapfen, welche in, an dem Gehänge befestigten Pfannen *pp* ruhen und durch die Deckel $p_1 p_1$ gehalten werden. Durch zwei halbkreisförmige, an den Zapfen befestigte, und auf die Deckel sich legende plattenförmige Anschläge $\pi\pi$ kann der Compassring aus der verticalen Stellung nur so weit gedreht werden, dafs er eine horizontale Lage annimmt. An der einen von zwei diametral gegenüber liegenden Stellen, die von denen der Zapfen um 90^0 abstehen, trägt der Compassring einen durch eine Stellschraube *q* beweglichen kleinen Bolzen, der gegenüber liegende ein cylindrisches Loch, durch welches der Napf *Q* in dem Ringe *PP* so befestigt wird, dafs er beim Anhängen des Gehänges an die Schnur eine horizontale Lage annehmen kann. Zur Aufnahme des Bolzens hat der Napf ein cylindrisches Loch, während der Zapfen des letzteren in ein Loch des Ringes tritt. Das auf dem Rande des Napfes befestigte Knöpfchen q_2, dem zur Arretierung gehörigen Schräubchen q_1 diametral gegenüber liegend, dient mit dem letzteren zum Anfafsen des Napfes. Wird das Schräubchen *q* angezogen, so tritt der bewegliche Bolzen des Ringes aus dem Loche des Napfes, so dafs nun auch der gegenüber liegende Zapfen des letzteren aus dem Loche des Ringes treten und dadurch der Compass von seinem Ringe getrennt werden kann. Bei der Verbindung des Compasses mit der Zulegeplatte ist nur darauf zu achten, dafs sein Zapfen sich dicht an den Stift γ (Fig. 155.) legt, der aus der Oberfläche des Gehäuses *GG* etwas hervortritt.

Anmerkung. Etwas verschieden von der hier beschriebenen Breithaupt'schen Einrichtung des Gehänges ist die von Osterland in Freiberg, welche Prof. Junge in Nr. 1. des 19. Jahrganges der berg- und hüttenmännischen Zeitung beschreibt und von demselben sehr empfohlen wird. Nach demselben ist nämlich der ganze Hängering durch die beiden Theile *oO*, *oO* ersetzt, deren untere Enden mit dem Compassringe *PP* durch Charniere verbunden sind, die diametral gegenüber stehen und deren Backenebenen gegen die Ebene des Ringes eine normale Lage haben. Dadurch können, bei vollkommen richtiger Ausführung, die beiden Hängearme nur in einer Ebene bewegt werden, welche auf der erwähnten Ebene des Ringes normal stehen und welche mit der durch die Schnur gedachten Ebene zusammenfällt. Durch zwei an den Armen angebrachte Anschläge wird der Bewegung von selbst eine bestimmte Gränze gesteckt.

Die Fehler der Boussole und des Hängecompasses und ihre Berichtigung, so wie ihr Gebrauch bei Winkelbestimmungen.

1. Prüfung, ob das Metall, aus welchem die Theile der Boussole verfertigt sind, eisen- oder nickelfrei ist.

§. 322.

Da von dieser Prüfung überall die Möglichkeit des Gebrauchs der Boussole abhängig gemacht wird, so mufs sie zuerst vorgenommen werden.

Man entferne den Compass von seiner Unterlage und stelle irgendwo eine stark wirkende, frei schwebende Magnetnadel auf einer festen Unterlage auf. Nähert man nun der zur Ruhe gekommenen Nadel die Boussole, und bringt durch Achsendrehung derselben auch verschiedene Theile derselben in die Nähe der Nadel, so ist der Apparat nur dann brauchbar, wenn bei allen diesen Bewegungen, vorausgesetzt, dafs die Unterlage der Magnetnadel dadurch nicht erschüttert wird, letztere nicht die geringste Abweichung zeigt.

Um zu untersuchen, ob das Gehäuse der Magnetnadel eisen- oder nickelfrei ist, drehe man die Zulegeplatte, nachdem die Magnetnadel zur Ruhe gekommen ist, sanft herum, so mufs ebenfalls die Nadel unverändert ihre Lage beibehalten.

§. 323.

2. Berichtigung der Dosenlibelle.

Diese geschieht nach dem im §. 31. angegebenen Verfahren.

3. Horizontalstellung der Boussole und Prüfung der normalen Lage der Glasebene des Compasses gegen den Verticalzapfen.

Die erstere wird durch die auf die Glasplatte gesetzte Dosenlibelle mittelst der Stellschrauben des Dreifufses auf bekannte Weise vorgenommen, alsdann darf bei der Umdrehung der Boussole um den Verticalzapfen der Stand der Blase sich nicht ändern.

Löst man nun die Arretierung der Magnetnadel, so müfsen beide Enden derselben mit dem Theilringe in derselben Ebene liegen; sollte diefs aber nicht der Fall sein, so mufs man die Glasplatte abnehmen und unter die Hälfte der Magnetnadel, deren Pol sich gegen den anderen erhebt, so viel Wachs kleben, bis derselbe mit dem Theilringe in derselben Ebene liegt.

§. 324.

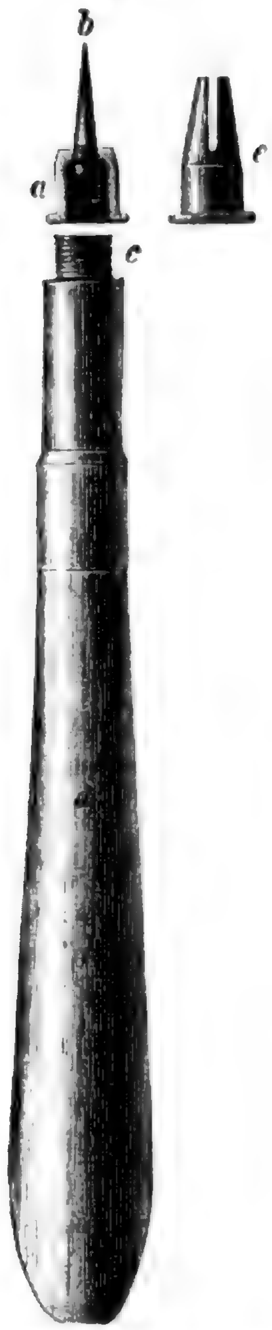
4. Prüfung der Magnetnadel.

Diese beschränkt sich auf die Untersuchung der erforderlichen Empfindlichkeit und der genügenden magnetischen Kraft und der gleichförmig Statt findenden Oscillationen.

Man visiere zu diesem Zwecke, nachdem die Boussole horizontal gestellt ist, mit dem Fernrohre auf ein entferntes Object und bemerke die gefundene Abweichung. Dreht man dann die Boussolenplatte allmälig um einige Gradtheile

vor- und rückwärts, stellt wieder auf das Object ein, wiederholt diefs Verfahren auch zu mehreren Malen und bleibt die Nadel bei den Drehungen gleichsam befestigt stehen, und giebt auch beim Einstellen auf das Object wieder denselben Abweichungswinkel an, so ist die Magnetnadel tadellos. Treffen die erwähnten Eigenschaften aber nicht zu, so wird meistens der Stift stumpf geworden sein und bedarf derselbe dann einer Zuspitzung durch Abschleifen. Hat aber der Stift die erforderliche Schärfe, was sich durch eine zweite tadellose Nadel erproben läfst, so wird man der Magnetnadel durch Streichen mit einem natürlichen oder künstlichen Magnet die nöthige magnetische Kraft ertheilen müfsen.

Fig. 157.

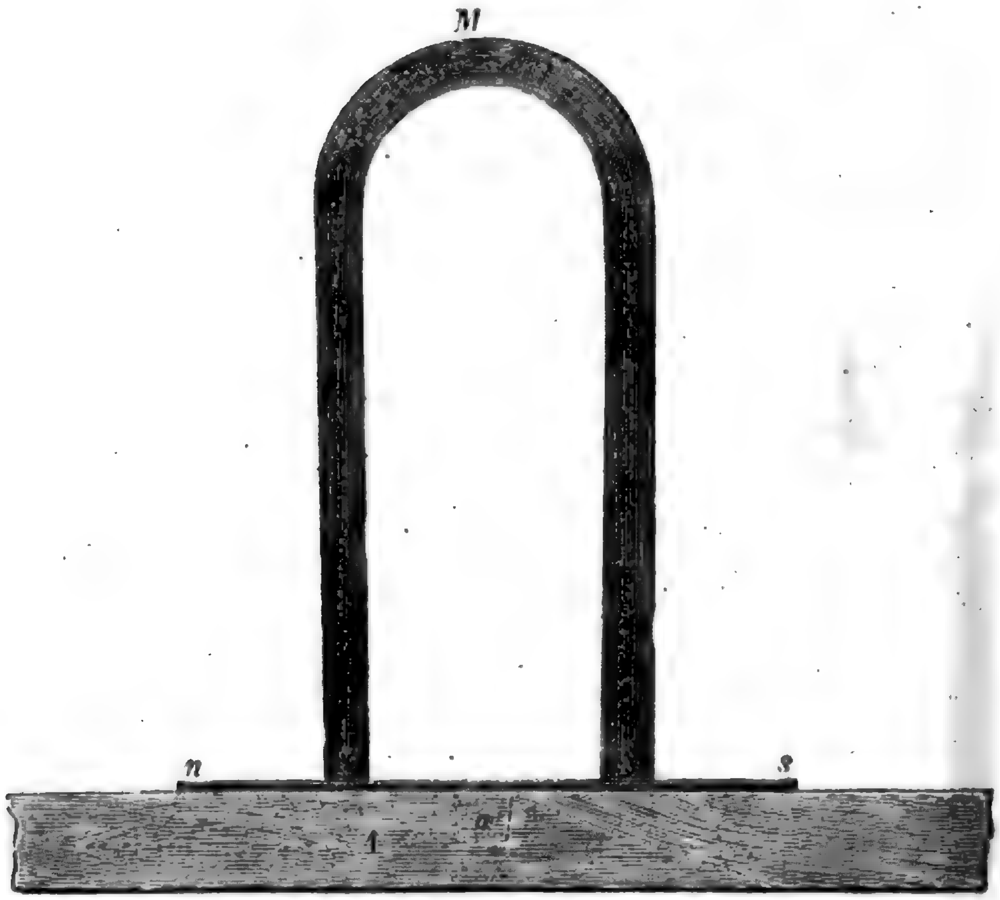


Anm. 1. Zum Schleifen des Stiftes auf einem feinen Oelsteine dient der in Fig. 157. dargestellte Hülfsapparat. *a* bezeichnet den im Durchschnitt dargestellten hohlen cylindrischen Körper, in welchem der Stift *b* mittelst seines Schraubengewindes befestigt ist und darauf auf dem mit dem Schraubengewinde *c* versehenen Handgriff *d* festgeschraubt wird. Durch den ebenfalls auf *c* befestigten, mit einem Einschnitte versehenen cylindrischen Körper *e* kann der etwa verbogene Stift wieder in die richtige Form gebracht werden.

2. Um den Magnetismus in der Nadel zu verstärken, legt man dieselbe auf eine ebene Unterlage, setzt einen Hufeisenmagnet in ihrer Mitte so auf, dafs die ungleichnamigen Pole einander genähert sind, streicht dann denselben mehrere Male von einem Ende der Nadel bis zum anderen und hebt das Hufeisen wieder in der Mitte der Nadel ab. Ist man nur in Besitz eines parallelepipedischen Handmagnets, so mufs dieser wieder mit dem einen Pole unter etwa 30 Grad Neigung in der Mitte der Nadel aufgesetzt, bis zu dem ungleichnamigen Pole der Nadel bewegt und dann erst abgehoben werden, wenn er über das Ende der Nadel gekommen ist. Indem man nun diefs Streichen zu mehreren Malen wiederholt, mit der anderen Nadelhälfte und dem selbstverständlich umgekehrten Handmagnet eben so und bei gleicher Zahl der Striche verfährt, wird der Magnetnadel die gehörige magnetische Kraft wieder ertheilt sein.

Durch Fig. 158. wird das Magnetisieren mittelst eines Hufeisenmagnets versinnlicht. *A* bezeichnet eine mit einer konischen Vertiefung *a* versehene Holzplatte, auf welche die Magnetnadel *n s* gelegt wird. *N S N* stellt den Hufeisenmagnet in der anfänglichen und endlichen Lage vor.

Fig. 158.



§. 325.

5. Berichtigung der Stellung des Fadenkreuzes und des Collimationsfehlers des Fernrohrs.

Ueber die Stellung des Fadenkreuzes ist wieder §. 257, 1. zu vergleichen. Da das Fernrohr bei der in Rede stehenden Boussole durchgeschlagen werden kann, so kann man das in §§. 177. und 223, 1. beschriebene Bessel'sche oder Bohnenberger'sche Verfahren zur Bestimmung des Collimationsfehlers anwenden. Die Berichtigung desselben geschieht auf bekannte Weise an den Stellschräubchen der Ocularblendung.

§. 326.

6. Prüfung des Parallelismus der Visierebene des Fernrohrs mit dem durch den Anfangspunkt des Theilringes gehenden Durchmesser und mit den Längskanten der Zulegeplatte.

1. Zu diesem Zwecke schraubt man die auf dem Rande des Boussolennapfes vorhandenen Schräubchen q_1 und q_2 aus, bringt an deren Stelle kleine senkrechte Stiftchen und durch Drehung der Boussole deren Verticalebene auf ein so entferntes Object, dafs deren Richtung mit der Visierlinie des Fernrohrs als parallel angesehen werden kann. Ist dann letztere ebenfalls auf das Object gerichtet, so ist der erwähnte Parallelismus vorhanden. Ist diefs aber nicht der

Fall, so stellt man das Fadenkreuz auf das Object ein, liest die Abweichung ab und bringt diese dann bei der Bestimmung der Abweichungswinkel in Rechnung, da eine Verstellung des Compasses gegen die Visierlinie selten gestattet ist.

2. Man bringe, wie im folgenden Paragraphen gezeigt wird, die Boussole in den abgesteckten Meridian, stelle vor das Objectiv ihres Fernrohrs in horizontaler Lage ein Reifsbrett oder eine Mefstischplatte in einer solchen Höhe auf, dafs das Fernrohr der auf sie gesetzten Kippregel mit dem Fernrohr der Boussole gleiche Höhe hat. Darauf bringe man das Fadenkreuz der Kippregel mit dem Fadenkreuz des in unveränderter Lage gelafsenen Boussolenfernrohrs zur Coincidenz und ziehe an der Kante des Lineals eine Gerade auf dem Reifsbrett, so stellt diese die Mittagslinie vor. Bringt man nun an diese nach einander beide Längskanten der Zulegeplatte in derselben Lage, die sie auf der Boussole einnahm, und zeigt dabei die Magnetnadel denselben Abweichungswinkel, so sind die Kanten mit der sogenannten Zwölftenstundenlinie, und daher auch unter sich parallel.

Eine etwaige Verbefserung kann meistens nur durch Abschleifen der Kanten, die selbstverständlich auch als gerade Linien zu prüfen sind, erreicht werden.

§. 327.

7. Bestimmung der Declination der Magnetnadel und des Abweichungswinkels einer auf dem Felde gegebenen Linie.

1. Man stecke nach einer der in den §§. 180. bis 182. angegebenen Methoden auf dem Felde die Richtung des Meridians aus, stelle sich mit der Boussole, nachdem die Zulegeplatte so auf der Unterlage befestigt ist, dafs der mit Nord bezeichnete Theil des Theilringes nach Vorn gekehrt ist, in dem einen Endpunkte der abgesteckten Meridianrichtung auf, stelle die Boussole durch die aufgesetzte Dosenlibelle horizontal und richte das Fadenkreuz des Fernrohrs auf den anderen Endpunkt der Meridianrichtung, so zeigt die Magnetnadel auf dem Theilringe durch die Abweichung vom Nullpunkte unmittelbar die geforderte Declination derselben an.

2. Durch dieselbe Einstellung der Boussole in dem einen Endpunkte einer auf dem Felde gegebenen Linie, erhält man auch durch Ablesung der Magnetnadel den Abweichungswinkel der gegebenen Linie vom magnetischen Meridian.

§. 328.

8. Einflufs des aus der excentrischen Lage des Fernrohrs entstehenden Fehlers auf die Bestimmung eines Winkels zwischen zwei Objecten.

Ist der Abstand des rechts vom Mittelpunkte der Theilung liegenden Fernrohrs von dem ersteren $= e$, die Entfernung des links liegenden Objects $= l$, die des rechts liegenden $= r$, der Horizontalwinkel der Objecte $= a$ und der durch die Boussole erhaltene $= \alpha$, so ist nach §. 260.

$$a - \alpha = 206265\left(\frac{e}{l} - \frac{e}{r}\right),$$

also

$$= 206265\left(\frac{e}{l} - \frac{e}{r}\right) \text{ Sekunden}$$

der durch die Excentricität des Fernrohrs entspringende Fehler.

Bei dem in Rede stehenden Apparat beträgt $e = 3$ Zoll. Ist ferner $b = 40$ Ruthen $= 7680$ Zoll, $r = 60$ Ruthen $= 11520$ Zoll, so ist der erwähnte Fehler

$$206265 . \left(\frac{3}{7680} - \frac{3}{11520}\right) = 206265 . \frac{1}{7680} = 27 \text{ Sekunden},$$

woraus sich aber ergiebt, dafs, da dieser Fehler weit geringer ist, als die Genauigkeit, mit welcher mittelst der Boussole die Winkel abgelesen werden können, der oben erwähnte Einfluss als nicht vorhanden betrachtet werden kann.

9. Bestimmung des Indexfehlers des Höhenkreises und Mefsung der Höhen- und Tiefenwinkel.

Diese Bestimmungen sind nach den §§. 276. bis 278. auszuführen.

§. 329.

10. Prüfung des Zusammenfallens der durch die Haken des Hängeringes gelegten Verticalebene mit dem durch den Nullpunkt der Theilung gehenden Durchmefser, oder der Zwölftenstundenlinie des Hängecompasses.

Nachdem man nach §. 327. die Declination der Magnetnadel mittelst der Boussole gefunden hat, spannt man in der Richtung des Meridians eine Schnur in fast horizontaler Lage aus, um unabhängig von anderen Fehlern des Hängecompasses zu sein, und hängt an diese den Hängecompass. Zeigt dann derselbe Pol der Magnetnadel die nämliche Declination, so hat der Napf des Compasses in dem Gehänge die richtige Lage. Eine von der früheren Ablesung gefundene Abweichung kann ihren Grund haben, theils in der Drehachse, durch welche der Compassring an dem Hängeringe befestigt ist, theils darin, dafs der Hängecompass von der durch die Schnur gelegten Verticalebene abweicht, theils endlich in der nicht winkelrechten Lage der Drehachse des Compassnapfes gegen die Drehachse seines Ringes.

Die beiden ersten Fehlerquellen sind unter der schon im §. 319. angegebenen Voraussetzung, dafs derselbe Compass, der zu den markscheiderischen Aufnahmen diente, auch zum Zulegen angewandt wird, auf die Zulage ohne Einflufs und zeigen nur einen constanten Winkelfehler in Bezug auf den magnetischen Meridian. Diefs ist aber bei der dritten Fehlerquelle nicht der Fall. Denn eine genauere Untersuchung würde zeigen, dafs der daraus entstehende Ablesungsfehler mit der Neigung der Schnur gegen den Horizont wachsen, bei einem Neigungswinkel von 60° sich am gröfsten zeigen würde und daher insbesondere bei längeren Zügen in Schächten bedeutend werden könnte. Wird eine richtige Eintheilung

des Stundenringes angenommen, wozu man jetzt immer berechtigt ist, so erfährt man bei jeder Lage der Schnur die Gröfse des Fehlers durch die Umhängung des Compasses und durch eine zweite Ablesung. Da aber dem Mechaniker zum Erkennen des in Rede stehenden Fehlers, im Allgemeinen befsere mechanische Mittel zu Gebote stehen, als sie sich dem praktischen Geometer darbieten: so wird der Fehler nie bedeutend sein und läfst sich derselbe dann leicht durch eine geringe Verstellung des durch die Schraube q (Fig. 156.) beweglichen Zapfens, mittelst der Verschiebung der Platte r, beseitigen.

§. 330.

II. Prüfung der horizontalen Lage des Compasses beim Anhängen desselben an die Schnur.

Beim Anhängen des Hängecompasses an die Schnur mufs die Magnetnadel in jeder beliebigen Lage der Schnur mit dem Stundenringe dieselbe Horizontalebene bilden. Ein hierbei sich zeigender Fehler kann theils durch eine zu starke Reibung der Zapfen des Compassnapfes in ihren Büchsen hervorgebracht werden, theils in dem ungleichen Gewichte der Hälften des Napfes, theils aber auch in der nicht normalen Lage des Compassringes gegen den Gehängering liegen. Hat man durch Entfernung alles Staubes und Schmutzes an den Zapfen und in den Büchsen, und durch Ertheilung von etwas Fett die zu starke Reibung beseitigt, so wird eine Abweichung von der horizontalen Lage nur in dem ungleichen Gewichte der Napfhälften zu suchen sein. Da die Drehung des Napfes in seinem Ringe in einer Linie erfolgt, welche die Theilpunkte $O.6$ und $W.6$ verbindet, so werden die gröfsten Fehler bei der Schnurlage in einer auf dem magnetischen Meridian normalen Ebene Statt finden, also wenn die Magnetnadel auf $O.6$ oder $W.6$ gerichtet ist, von da ab aber gegen $N.12$ oder $S.12$ abnehmen, bis der Fehler in der Lage der Nadel auf die zuletzt erwähnten Punkte verschwindet, sobald man von der ungleichen Höhe der beiden Pole über dem Stundenringe abstrahiert. Der Fehler läfst für die zweite Fehlerannahme sich entweder durch Abschleifen der zu schweren Napfhälfte oder dadurch beseitigen, dafs man an die zu leichte Hälfte etwas Wachs klebt.

Hat aber der Compassring keine normale Lage zum Gehängeringe, so ist einleuchtend, dafs, wenn die Drehachse des Compassnapfes entweder mit der magnetischen Meridianebene oder mit einer zu ihr normalen Ebene zusammenfällt, kein Fehler in der Ablesung Statt finden wird, sobald die Schnur horizontal liegt, dafs aber ein solcher bei gegen den Horizont geneigten Schnüren sich zeigen und bei 90^0 Neigung am gröfsten sich darstellen wird. Bestimmt man diefs Maximum daher, indem man bei einer seigeren Schnur den Compass einmal in der gewöhnlichen Lage, dann aber auch in umgewendeter Lage beobachtet, so wird dasselbe in doppelter Gröfse sich zeigen. Die Hälfte desselben läfst sich dann an den kleinen Klemmschräubchen, durch welche die cylindrischen Zapfen des

Compassringes in dem Gehängeringe mittelst der Deckplatten p_1 p_1 in ihren Pfannen p p gehalten werden, verbefsern, indem dadurch die Lage der horizontalen Flächen der Anschlagplatten π π gegen die unterliegenden Deckplatten verändert wird.

Anm. 1. Die in dem Vorhergehenden angegebenen Untersuchungen über den Hängecompass zeigen zur Genüge, wie schwierig zum Theil nicht nur die Auffindung der Fehlerquellen an sich ist, sondern dafs auch die Verbefserung der aufgefundenen Fehler in einzelnen Fällen nicht die Sicherheit gewährt, die ein guter Winkelmefser fordert. Da nun auch die Beobachtungen selbst nicht immer in der Art anzuordnen sind, um die aus den übrig gebliebenen Fehlerquellen hervortretenden Beobachtungsfehler eliminieren zu können, was zum Theil durch die mehrfache Zusammensetzung der einzelnen Theile zu einem Ganzen bedingt wird: so darf wohl mit Recht behauptet werden, dafs der Compass bei den Arbeiten des Markscheiders nicht den Grad der Zuverläfsigkeit zu gewähren im Stande ist, der an die dahin gehörenden zu lösenden Probleme gestellt werden mufs und den der Theodolith, selbst wenn auch von seiner viel gröfseren Genauigkeit in der Winkelablesung abstrahiert wird, zu gewähren vermag.

2. Die Beschreibung und Abbildung der nur zu flüchtigen militairischen Mefsungen anzuwendenden Schmalkalder'schen Hand- oder Patentboussole soll, da sie nur in freier Hand gehalten zur Anwendung kommt, erst später gegeben werden.

Die Genauigkeit der Winkelbestimmung mittelst des Theodoliths, des Mefstisches und der Boussole.

§. 331.

Weil die in V. beschriebenen Azimuthalinstrumente mit dem Mefstische und der Boussole die Classe der Horizontal-Winkelmefser bilden, so ist am Schlufs der Beschreibung dieser Apparate die Frage über die im Gradmafs angegebene Gröfse der Genauigkeit dieser Mefsapparate gewifs am rechten Orte, weil gerade die Beantwortung dieser Frage den Praktiker bei einer gröfseren oder kleineren Fluraufnahme über die Wahl des anzuwendenden Mefswerkzeugs zur Richtschnur dienen mufs. Es ist wohl selbstverständlich, dafs man bei der richtigen Beantwortung der erwähnten Frage, alle nachtheiligen Einflüfse, durch welche bei der Winkelbestimmung Fehler entstehen könnten, als möglichst beseitigt annimmt, so dafs bei der Mefsung selbst nur noch die zufälligen oder unvermeidlichen Fehler in Betracht kommen können.

Nimmt man bei der Boussole einen Theilungsdurchmefser von 4 Zoll, eine Eintheilung in Drittel-Grade und eine weitere Eintheilung derselben durch Schätzung in vier gleiche Theile an, wobei also jede zwei der 1080 Theilstriche um etwa 0,14 Linien von einander abstehen, so würde in der Ablesung einer

Richtung doch immer eine Unsicherheit von 5 Minuten liegen, wenn selbst von dem Fehler, der bei der Zulage dieser Richtung begangen wird, abstrahiert würde.

Bei der Winkel- oder Richtungsbestimmung mittelst des Meſstisches hängt die Genauigkeit derselben, bei Beseitigung aller nachtheiligen Einflüſse, nur allein von der Dicke d des auf der Meſstischplatte gezogenen Bleistiftstrichs ab, der also, bei einer bestimmten Länge s desselben, einen Winkel von $\frac{d}{s}$ 206265 Sekunden verdecken wird, also wenn man $d = 0{,}02$ Linien annimmt, bei einer Länge von 100 Linien, 40 Sekunden betragen würde. Da aber die hierbei vorausgesetzten günstigsten Umstände wohl nie, oder doch nur selten in der Wirklichkeit zutreffen werden, so darf man den bei einer Richtungsbestimmung gemachten Fehler auf etwa $1\frac{1}{2}$ Minuten annehmen.

Bei den Theodolithen wird die Genauigkeit der Ablesung der Richtungen, bei vorausgesetzter richtiger Eintheilung des Limbus und Verniers und der fehlerfreien Construction der Mikrometerschrauben der Schraubenmikroskope, lediglich bedingt durch die Angabe des Verniers oder des Werthes eines Trommeltheiles der Mikrometerschraube. Wird nun bei den Angaben der Verniere oder den Trommeltheilen der Schraubenmikroskope ein kleinerer Bogen gefordert, so ist dieſs bei den mit Verniers versehenen Theodolithen, da der Entfernung der Theilstriche zum genauen Ablesen und Bestimmen der Coincidenz derselben immer eine bestimmte Gränze gesteckt ist, nur durch einen gröſseren Durchmeſser des Theilkreises, also nur durch gröſsere Theodolithen zu erreichen; bei der Anwendung der Schraubenmikroskope indessen ist dieſs nicht der Fall, da man durch die jetzigen mechanischen Einrichtungen der Schraubenschneidmaschinen die Gewinde der Schrauben nicht nur vollkommen gleichmäſsig, sondern auch von beliebiger Höhe oder Feinheit darzustellen im Stande ist, also auch die Genauigkeit der Ablesung beliebig gesteigert werden kann. Es kommt deshalb jetzt in dieser Beziehung weniger auf den Durchmeſser des Theilkreises, als nur auf die Vollkommenheit der Theilung selbst an. Auch ist nicht zu übersehen, daſs die Theodolithe mit mikroskopischer Ablesung auch noch den Vortheil einer leichteren und schnelleren Ablesung darbieten. Da nun auſserdem bei der Winkelmeſsung mittelst des Theodoliths alle constanten Fehlerursachen durch die Methode der Beobachtung eliminiert, die zufälligen oder unvermeidlichen Fehler aber nach der Methode der kleinsten Quadrate ausgeglichen werden können: so dürften wohl alle diese Vortheile, die der Theodolith, dem Meſstisch und der Boussole gegenüber, gewährt und die bislang auch nur von der s. g. höheren Geodäsie adoptiert waren, auch auf kleinere Aufnahmen übertragen werden.

Bedenkt man ferner, daſs man durch Anwendung eines Theodoliths mit etwa 5zölligem Horizontalkreis und mikroskopischer Ablesung von etwa 5 Sekunden eine Genauigkeit bei Meſsungen erreichen kann, welche die Entfernungen bis auf $\frac{1}{5000}$ -- $\frac{1}{6000}$, also ungefähr 12 bis 15 Mal genauer, als mit der Meſskette giebt:

so dürfte auch die Frage, welcher Mefsapparat bei Aufnahmen, von denen man die gröfste Genauigkeit fordert, anzuwenden sei, wohl leicht zu entscheiden sein. Und so liegt denn auch wohl die Hoffnung nicht mehr ganz fern, dafs die Vorstands-Behörden über die Kataster- und ökonomischen Aufnahmen allmälig zu der Ueberzeugung kommen, dafs mit der Zugrundelegung des Theodoliths eine viel gröfsere Genauigkeit erreicht wird, als mit der alleinigen Anwendung der Mefskette. Diese Ueberzeugung hat man auch bereits im Fürstenthum Schwarzburg-Sondershausen gewonnen, woselbst bei der Kataster-Vermefsung soweit ins Detail hinunter trianguliert wird, dafs auf jede 12 bis 15 Morgen ein durch einen Theodolith bestimmter trigonometrischer Punkt kommt *).

Dafs im Vorhergehenden (unter VI.) die zum Theil veralteten, einfachen Constructionen des Mefstisches und der Boussole nicht mit dargestellt sind, möchte durch die letzteren Bemerkungen gerechtfertigt erscheinen.

*) Baeyer, über die Gröfse und Figur der Erde. Berlin 1861. S. 66.

Berichtigung.

S. 154. ist nach Zeile 16. noch die Formel

$$\cos h \cos p = \sin \varphi \cos \delta - \cos \varphi \sin \delta \cos t$$

einzuschalten.

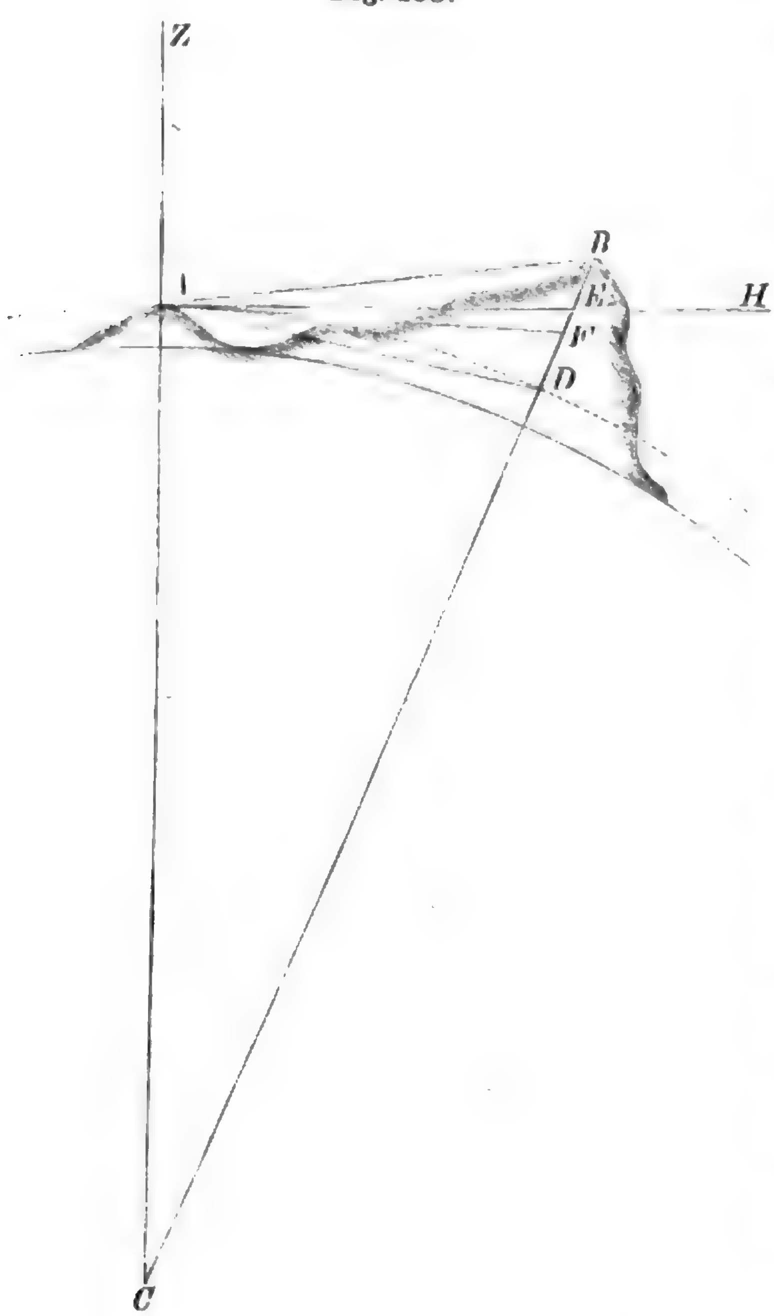
VII. Die Nivellierwerkzeuge und das Barometer zu Höhenmefsungen.

§. 332.

Es ist zwar schon im §. 112. auf den Unterschied aufmerksam gemacht, der im Allgemeinen zwischen den Höhenwinkelmefsern und den Nivellier-Instrumenten Statt findet, indessen mufs zum genaueren Verständnifs dieses Unterschiedes doch noch das Nachfolgende bemerkt werden.

Bezeichnen in Fig. 159. *A* und *B* zwei von dem Mittelpunkte *C* der Erde verschieden entfernte Punkte auf ihrer Oberfläche, so wird jeder Punkt der Kugelfläche *AD*, welche man mit dem kleineren Abstande *CA* aus *C* beschreibt, eine gleiche Höhe mit *A* haben, und daher dieselbe auch der wahre Horizont des Punktes *A* genannt.

Fig. 159.



In der durch *A*, *B* und *C* gelegten Verticalebene drückt also *DB* den Höhenunterschied der Punkte *A* und *B*, oder die (absolute) Höhe des Punktes *B* über *A* d. h. über seinem wahren Horizonte aus.

Ist nun der Horizontalabstand beider Punkte bekannt und wird die wahre Zenithdistanz *ZAB* aus der beobachteten scheinbaren Zenithdistanz und der irdischen Refraction (§. 227.) bestimmt, so ergiebt sich die Möglichkeit der Berechnung von *BD*, da aus dem bekannten Erdhalbmefser und dem gegebenen Abstande *AB* der Winkel *C* sich berechnen läfst und daher in dem ebenen Dreieke *ADB* eine Seite und 2 Winkel bekannt sind. Eine solche

Mefsung, selbstverständlich nur auf terrestrische Objecte bezogen, heifst eine trigonometrische Höhenmefsung und kann mit den unter IV. (S. 186) beschriebenen Höhen- oder Höhen- und Azimuthalinstrumenten ausgeführt werden.

Folgen aber den hier in Rede stehenden zwei Punkten A und B noch viele andere in einem fortlaufenden Linienzuge in nur kleinen Entfernungen und zum Theil nur in sehr geringen Höhenunterschieden, wie solches bei der Bestimmung des Terrains zur Anlage von Strafsen, Eisenbahnen, Kanälen u. s. w. vorkommt: so ist einleuchtend, dafs mit Vortheil von dem oben erwähnten Verfahren kein Gebrauch gemacht werden kann.

Man wendet dann eigens zu diesem Zwecke construierte Mefsapparate an, welche die Darstellung der Lage einer durch den Punkt A (oder B) gelegten tangierenden, also auf dem Erdhalbmefser CA normal stehenden Ebene AH, die man deshalb den scheinbaren Horizont des Punktes nennt, und zugleich, bei zwei Classen dieser Apparate wenigstens, die Fixierung des scheinbaren Horizontes auf einem in dem anderen Endpunkte vertical errichteten und mit der landesüblichen Fufseintheilung versehenen Mafsstabe gestatten, so dafs zur Bestimmung des Höhenunterschiedes beider Punkte, ihre Abstände von einer Horizontallinie gemefsen werden können, die mit den Abständen in derselben Verticalebene liegt. Man nennt diese Mefsapparate Nivellierinstrumente und das Verfahren, mittelst derselben die Höhenunterschiede gegebener Punkte zu bestimmen, Nivellieren, Wafserwägen, Abwägen, so wie die vollzogene Mefsung ein Nivellement.

Die hier in Rede stehenden Nivellierwerkzeuge unterscheiden sich aber dadurch wesentlich von den oben erwähnten Höheninstrumenten, dafs mit ihnen zwischen den gegebenen Punkten niemals Zenithdistanzen, sondern entweder Elevations- (Höhen-) oder Depressions- (Tiefen-) winkel bestimmt werden, die als Gegenwinkel der auf dem eingetheilten Mafsstabe bestimmten Längen erscheinen und dafs sie auch diese Mafsstäbe, Nivellierlatten, als nothwendige Hülfsapparate erfordern.

Während aber bei den trigonometrischen Höhenmefsungen die beobachteten scheinbaren Zenithdistanzen nur der Correction wegen der irdischen Strahlenbrechung bedurften, kommt beim Nivellieren mit den eigentlichen Niveau's aufser der erwähnten Correction auch noch die wegen der Krümmung der Erde oder wegen der Erhöhung des scheinbaren Horizonts über dem wahren in Betracht, da selbstverständlich die nach der Nivellierlatte gehende horizontale Visierlinie nicht mit der Richtung AE, sondern mit AD zusammenfallen sollte. Von der Grösse der anzubringenden Correctionswerthe wird später die Rede sein.

§. 333.

Nach dem im vorigen Paragraph gegebenen Begriffe vom Nivellieren müfsen die Nivellierwerkzeuge für jeden Punkt der Erdoberfläche die Lage des scheinbaren

Horizonts mit möglichster Schärfe anzugeben vermögen, um in ihm selbst, oder ihm parallel, auf einer aufgestellten Nivellierlatte eine horizontale Visierlinie bestimmen und die Verticalabstände der zu nivellierenden Punkte meſsen zu können.

1. Weil nun, wie im §. 29. erwähnt, die an dem höchsten Punkte der Luftblase einer Röhrenlibelle gedachte Berührungslinie immer horizontal ist, so bietet die Röhrenlibelle, in Verbindung mit einem ihr parallelen und mit einem Fadenkreuz versehenen Fernrohr, die Möglichkeit der Erfüllung der vorhin gestellten Forderung dar. Und da nicht nur die Empfindlichkeit der Libelle, sondern auch ihr entsprechend die Güte des Fernrohrs beliebig gesteigert werden kann, so bilden offenbar die eine Röhrenlibelle und ein Fernrohr enthaltenden Nivellierinstrumente die vollkommenste Art derselben. Sie werden Libellenniveau's genannt, oft auch nur durch das Wort Niveau*) bezeichnet. Theils nach ihrer verschiedenen Einrichtung und theils nach dem dadurch bedingten verschiedenen Gebrauche zerfallen sie wieder in mehrere Arten.

2. Weil ferner aus physikalischen Gründen eine tropfbare Flüſsigkeit in den Schenkeln einer communicierenden Röhre gleich hoch steht, also die oberen freien Flächen derselben in einer Horizontalebene liegen, so wird durch sie eine zweite Art von Nivellierwerkzeugen ermittelt, zu welcher die Kanalwage und die Keith'sche Quecksilberwage gehören. Zu beiden Classen der Nivellierinstrumente gehört noch eine Nivellierlatte.

3. Da auch durch ein frei herabhängendes, mit der Richtung der Schwerkraft zusammenfallendes Senkblei oder Loth die Richtung des scheinbaren Horizonts bestimmt wird, so können auch alle mit einem solchen Lothe versehenen Instrumente zum Nivellieren benutzt werden, obgleich durch einige derselben der Höhenunterschied zweier Punkte nicht direct abgeleitet, sondern aus dem gemeſsenen geradlinigten Abstande derselben und dem ebenfalls gemeſsenen Neigungswinkel des Abstandes gegen den Horizont berechnet wird.

4. Endlich kann auch bei bedeutenden Höhenunterschieden, z. B. bei der Bestimmung der Höhe der Kuppen eines Gebirges, das Barometer durch die gleichzeitige Beobachtung des Barometerstandes gebraucht werden.

A. Die Libellenniveau's.

§. 334.

Obgleich bei den Libellenniveau's die mannigfaltigsten Constructionen angetroffen werden, so laſsen sich doch einzelne Theile derselben namhaft machen, die bei allen, wenn auch in modificierter Art, sich vorfinden. Zu diesen gehört ein hinreichend fester plattenförmiger Körper, an welchem die Träger des

*) Ursprünglich livean von dem Lateinischen libella.

Fernrohrs angebracht sind und der mittelst Zapfens und Büchse im Horizont rund herum sich bewegen läfst.

Ferner das mit den Trägern unabänderlich verbundene, oder in seinen Lagern umlegbare Fernrohr. Es darf noch bemerkt werden, dafs Dioptern bei Nivellierwerkzeugen im Allgemeinen noch weniger zuläfsig sind, als bei Horizontal-Winkelmefsern. Endlich eine hinreichend empfindliche Röhrenlibelle, die entweder mit dem Fernrohr, oder mit den Trägern defselben in Verbindung gebracht werden kann.

Hinsichtlich des Gebrauchs der Libellenniveau's bleibt entweder 1) das Fernrohr in paralleler Lage mit der Libelle und es wird der scheinbare Horizont auf der Nivellierlatte mittelst der durch die Libelle eingestellten Visierlinie des Fernrohrs unmittelbar angegeben; oder 2) es werden die Winkel bestimmt, welche die durch die Libelle eingestellte horizontale Visierlinie des Fernrohrs entweder mit zwei geneigten Visierlinien bildet, die nach zwei in immer gleichem Abstande bleibenden Punkten der Latte gerichtet sind, oder die sie mit einer geneigten Visierlinie einschliefst, welche nach einem in gleicher Höhe mit der ersten horizontalen Lage des Fernrohrs auf der Latte angegebenen Punkte gerichtet ist. Hierbei werden zugleich die erwähnten Winkel nicht im Gradmafs, sondern entweder durch die Trommeltheile einer Mikrometerschraube bestimmt, oder auf einer Scale abgelesen, deren Eintheilung das Verhältnifs der Länge des drehbaren Fernrohrs zu einer bestimmten Stationslänge darstellt.

Endlich gestatten die Nivellierwerkzeuge der ersten Art entweder die Nivellierung von Horizontal-Ebenen, indem ohne neue Einstellung der Libelle, diese mit dem Fernrohr im Horizonte herumgeführt wird, oder nur die Abwägung von Horizontal-Linien, während die Nivellierung jeder anderen Richtung eine neue Einstellung der Libelle erfordert. In dem ersten Falle liegt das Fernrohr mit der Libelle in den *y* förmigen Lagern zweier Träger, die in einem der Länge des Fernrohrs entsprechenden Abstande von der Trägerplatte ausgehen. Die Horizontalbewegung geschieht mittelst eines mit der Trägerplatte verbundenen Verticalzapfens in einer Büchse, oder umgekehrt. Zur Einstellung der Libelle dienen bei den grösseren Apparaten die Stellschrauben eines Dreifusses, während bei den kleineren der letztere durch eine Nufs mit Stellschrauben vertreten wird. Aufserdem müfsen die in Rede stehenden Apparate die Möglichkeit der Verbefserung der etwa nicht vorhandenen normalen Lage der Visierlinie des Fernrohrs gegen die Verticalachse gestatten. Die Verbindung des Dreifufses mit der Trägerplatte führte zuerst Reichenbach ein, daher die so eingerichteten Apparate recht passend Reichenbach'sche Niveau's genannt werden können. In dem zweiten Falle sind die Constructionen viel mannigfaltiger. Bei einigen liegt das Fernrohr mit der Libelle zwar ebenfalls in den *y* förmigen Lagern zweier von der Trägerplatte ausgehender Träger, jene kann aber von einer damit verbundenen Schraube, Elevationsschraube, die entweder eine Schraube mit

feinem Gewinde, oder eine Mikrometerschraube, oder eine Schraube ohne Ende ist, zwischen Schraubenspitzen oder mittelst eines Charniers in verticaler Richtung bewegt werden, wodurch die Libelle zugleich mit dem Fernrohr eingestellt wird, während die Unterlage der Trägerplatte ein kleiner Dreifufs, oder eine Nufs mit Stellschraube, oder eine Nufs mit der Centralschraube bildet, welche Stellschrauben dann aber nur zur vorläufigen Horizontalstellung dienen. Oder es wird bei derselben Beschaffenheit der Fernrohrlager der eine Träger sammt Fernrohr und Libelle durch die Elevationsschraube in verticaler Richtung bewegt, zu welchem Zwecke der andere Träger gegen die Trägerplatte eine Drehung zwischen Schraubenspitzen gestatten mufs. Oder es kann das Fernrohr mit der Libelle durch die Elevationsschraube zwischen den gabelförmigen Erweiterungen des einen Trägers in verticaler Richtung bewegt werden, wobei abermals die Einrichtungen mehr oder weniger von einander abweichen können, wie diefs die nachfolgenden Beschreibungen der Niveau's zeigen werden.

A. Die Libellenniveau's zum Nivellieren der Ebenen.

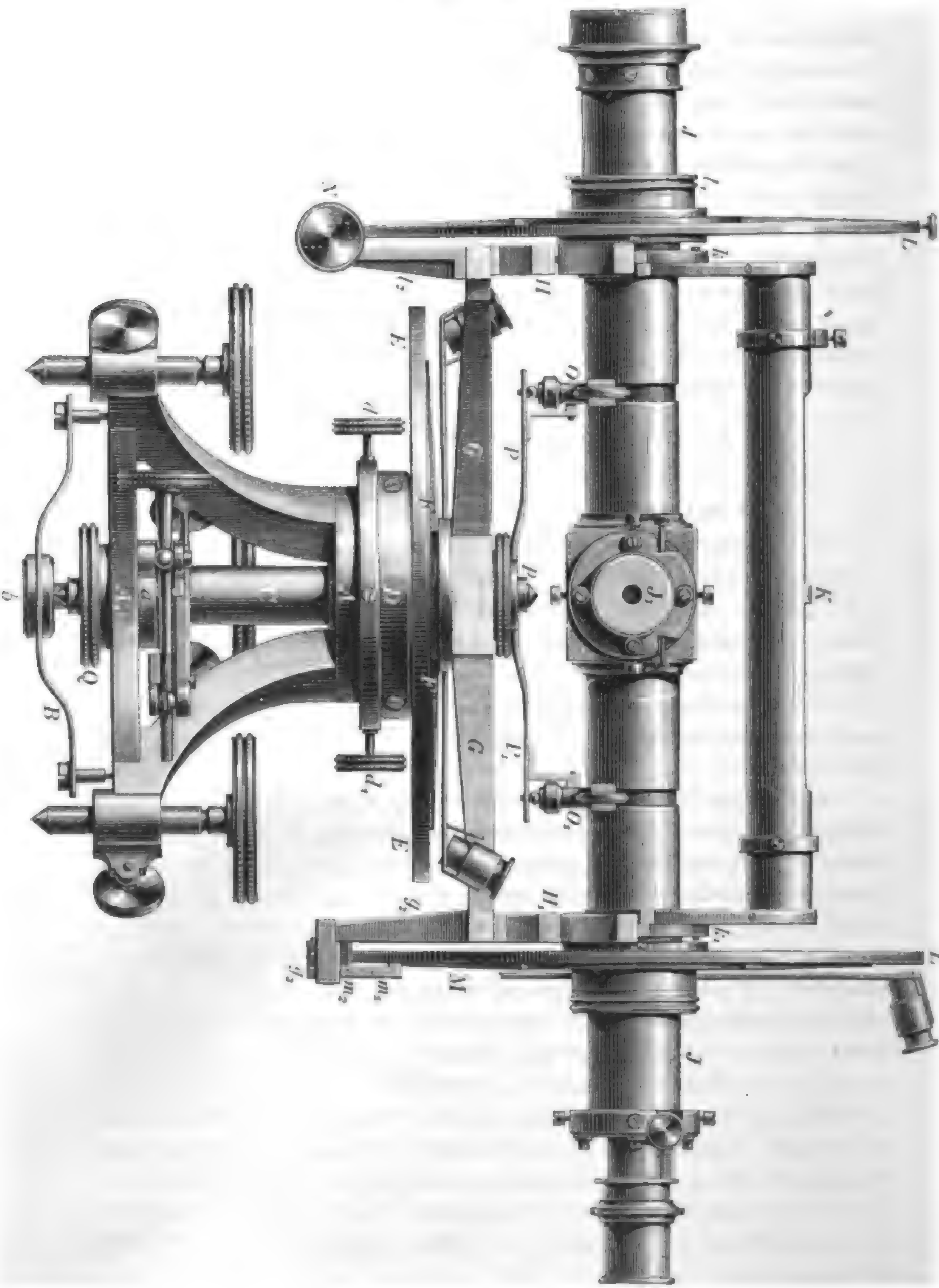
§. 335.

1. Das grofse Niveau mit Horizontal- und Höhenkreis.

Das in Fig. 160. im Drittel der wahren Grösse dargestellte Libellenniveau, von dem verstorbenen Mechaniker Hohnbaum in Hannover angefertigt, dient nicht nur zum Nivellieren, sondern kann auch als Azimuthalinstrument zum Mefsen der Horizontalwinkel, so wie, wenngleich nur etwas beschränkt, zum Mefsen der Höhenwinkel benutzt werden, indem in den durchbohrten Würfel des zum Nivellieren dienenden Fernrohrs noch ein zweites, in normaler Lage zu dem ersten geschraubt werden kann, so dafs dieses dann dem zweiten als Umdrehungsachse dient.

Den unteren Theil des Instruments bildet der in den Cylinder A auslaufende Dreifufs, über dessen genauere Einrichtung Fig. 62. und §. 86. zu vergleichen ist. Durch die konischen Durchbohrungen des erwähnten Cylinders und der mit den Armen des Dreifufses verbundenen dreiarmigen Platte A_1 geht der auf der Tragfeder B ruhende stählerne Verticalzapfen C. Die um A drehbare Büchse D bildet mit dem Horizontalkreise EE ein Ganzes. Durch die beiden Druckschrauben $d\,d_1$ kann die grobe Drehung des Kreises gehemmt, mithin die Grösse eines Horizontalwinkels durch die wiederholt einfache Winkelmefsung (§. 267.) bestimmt werden. In die Büchse der Albidade FF ist, wie im §. 86. erwähnt wurde, der Verticalzapfen eingetrieben und bildet so mit ihr ein Ganzes. Auf die Büchse ist die rahmenförmig ausgeschnittene Trägerplatte GG geschoben und durch starke Schrauben mit ihr unabänderlich verbunden. Auf die Enden der Trägerplatte sind in normaler Richtung die beiden Träger HH_1 gesetzt, in deren y förmigen Lagern das Fernrohr JJ mit seinen genau geschliffenen Ringen von Glockenmetall nur in vier Punkten der beiden Lager aufliegt. Auf die Ringe

Fig. 160.



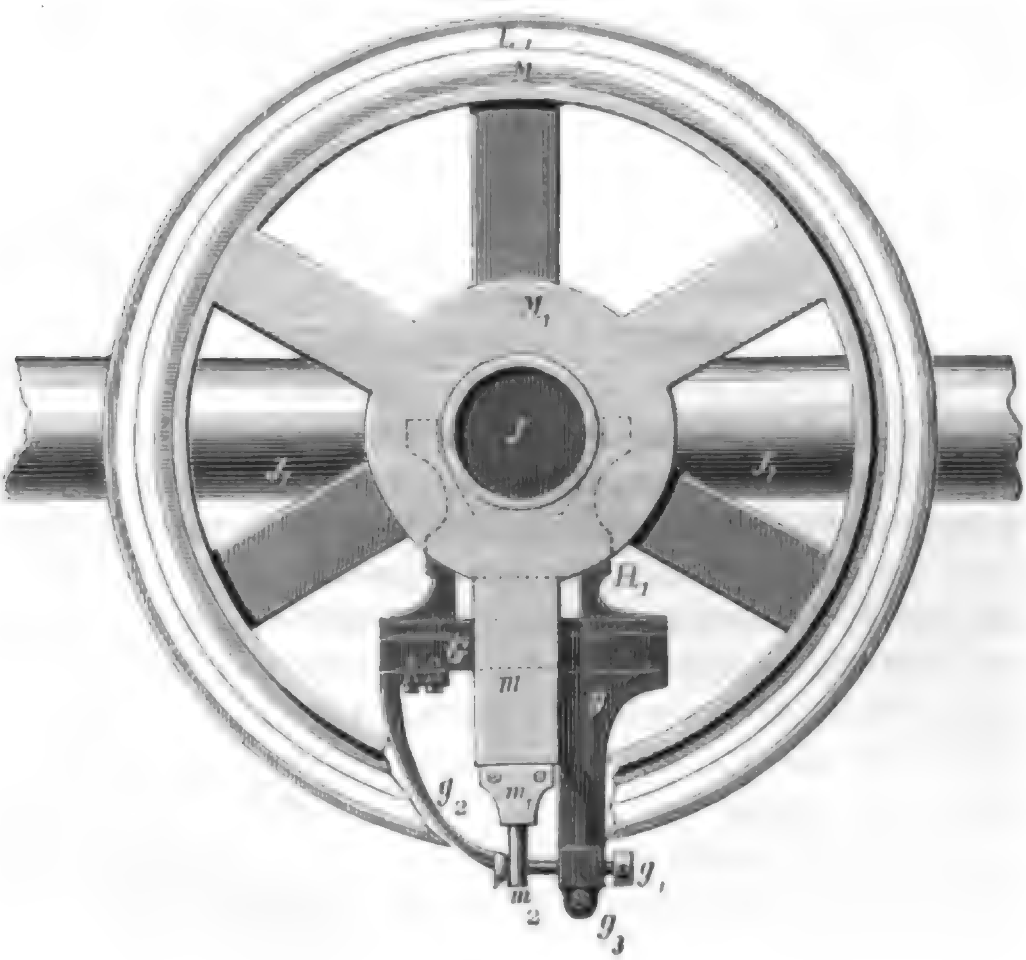
werden die Füfse der Röhrenlibelle K gesetzt und durch zwei in die Lagerplatten eingestellte, etwas federnde Bügel $k k_1$, welche über seitlich angebrachte Stifte der Libelle greifen, gehalten.

Die grobe Horizontalbewegung des Apparats als Niveau ergiebt sich aus dem Vorhergehenden von selbst. Obgleich nun diese bei einer sorgfältigen Construction des Verticalzapfens in den meisten Fällen beim Einstellen des Fernrohrs auf die Nivellierlatte ausreichend sein wird, so ist, da der Apparat auch die Mefsung der Horizontalwinkel gestattet, noch die Hemmung der groben Bewegung und die feine Einstellung durch ein Mikrometerwerk erforderlich. Diefs besteht, wie schon im §. 86. erwähnt wurde, in einem geschlofsenen Ringe mit zwei Prefsschrauben und Bremsplatten, welche letztere gegen den Verticalzapfen C gedrückt werden. Die Klemme für die Mutter der Mikrometerschraube liegt an dem Fortsatze des Ringes, die für die Kugel derselben an der mit der Platte A_1 durch Schrauben verbundenen Platte a.

Das Fernrohr JJ ist mit einem Ramsden'schen Ocular mit verstellbaren Fäden zum Distanzmefsen versehen, über dessen genaue Einrichtung auf Figg. 29. bis 31. und §. 50. zu verweisen ist.

Von dem zweiten, eben so construierten Fernrohr J_1, das zum Mefsen der Horizontalwinkel dienen soll, enthält Fig. 160. nur die vordere Ansicht der Ocularröhre und des Deckels; Fig. 161. zeigt einen Theil der Objectivröhre. Wird

Fig. 161.



dafselbe nicht benutzt, so wird es ausgeschraubt und werden dann in die Oeffnungen zwei Platten geschraubt, um das Innere des anderen Fernrohrs vor Staub zu schützen.

Der Limbuskreis ist unmittelbar von 5 zu 5 Minuten getheilt, jeder der vier Verniers giebt 4 Sekunden an.

Zum Mefsen der Verticalwinkel dient der Verticalkreis L_1, der an der Flansche i_1 des einen Ringes des Fernrohrs JJ mittelst Schrauben befestigt ist, während sich vor die Flansche i des anderen Ringes der mit der Druckschraube l versehene Kreis L zur Hemmung der groben Verticalbewegung legt und durch eine vorgeschraubte Mutter l_1 gegen die erwähnte Flansche gedrückt wird.

Die Büchse M_1 (Fig. 161.) der kreisförmigen Alhidade M des Verticalkreises wird vor die des Kreises geschoben, wodurch die Silberstreifen der Kreise in einer Ebene liegen, und mit der Trägerplatte GG auf dieselbe bekannte Weise vereinigt, als solle die Alhidade gegen den Kreis mikrometrisch bewegt werden. An die eine Speiche m der Alhidade ist nämlich der vorspringende Theil m_1 mit dem Stahlstifte m_2 geschraubt, gegen welchen die in dem Arme g der Trägerplatte angebrachte Stellschraube g_1 tritt und von der ebenfalls an GG befestigten Druckfeder g_2 den erforderlichen Druck erhält; durch die Klemmschraube g_3 kann der Gang der Stellschraube g_1 beliebig erschwert, also eine innige Vereinigung der Alhidade mit den Trägern des Fernrohrs hergestellt werden.

Zur feinen Einstellung des Fernrohrs J_1 mit dem Verticalkreise dient nach erfolgter Hemmung desselben durch Anziehen der Druckschraube l, die Mikrometerschraube N, welche mittelst Druckes einer an der Trägerplatte angebrachten Druckfeder l_2, die sich wieder gegen einen aus dem Rande des Kreises L hervortretenden Stahlstift legt, die gehörige Wirkung äussern wird.

Um die nicht unbedeutende Friction des oberen Theils des Apparats in den Achsenlagern der Träger möglichst zu vermindern, ruht das Fernrohr JJ auf vier Frictionsrollen, deren zugehörige Cylinder OO_1 auf einer Tragfeder PP_1 befestigt sind, welche auf den vorspringenden Rand des Verticalzapfens geschraubt und durch die Mutter p befestigt werden kann. Die Festhaltung des Zapfens gegen den Dreifufs geschieht durch die Mutter Q.

Der Apparat wird mit den Spitzen der Stellschrauben des Dreifufses in die zugehörigen cylindrischen Vertiefungen des Metallkopfes eines Scheibenstativs gewöhnlich ohne weitere Befestigung gestellt, welches durch das nicht unbedeutende Gewicht des Apparats gerechtfertigt wird, kann aber auch durch eine durch den Stativkopf gesteckte und in die Mutter b dringende Schraube vor dem Herabfallen während der Beobachtungen gesichert werden.

§. 336.

2. Das grofse Libellenniveau.

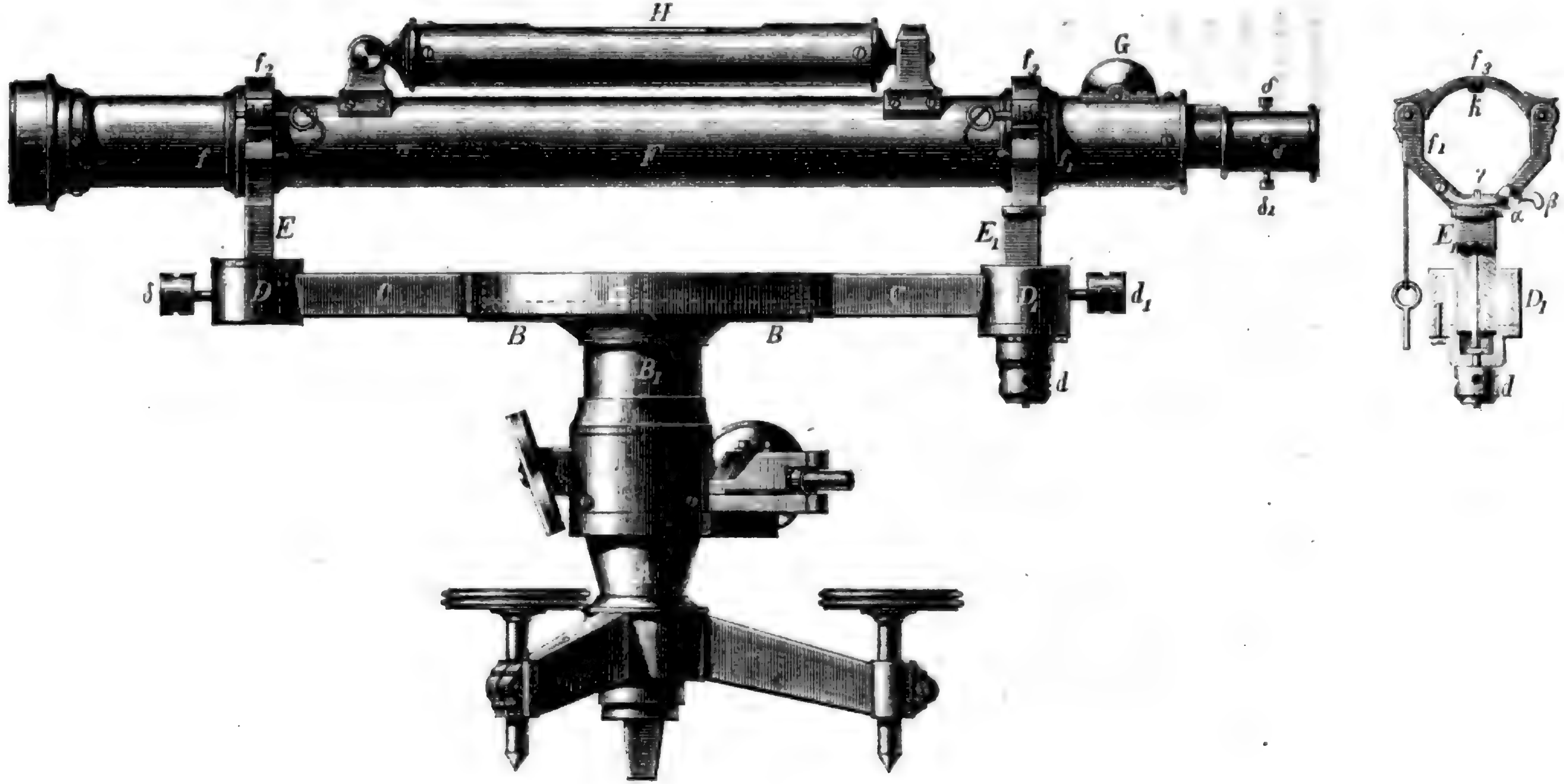
1. Die Grundlage des in Fig. 162. im Drittel wahrer Gröfse dargestellten, vom Mechanikus Frerk verfertigten Libellenniveau's bildet ebenfalls ein Dreifufs, in dessen Büchse A ein konischer Verticalzapfen, Oben mit einer Scheibe B und einer Büchse B_1 verbunden, sich drehen läfst. Auf dieser Scheibe ist die prismatische Trägerplatte CC durch ihr cylindrisches Mittelstück C_1 mittelst Schrauben befestigt. Die Enden der Trägerplatte laufen in Cylinder D und D_1 aus, mit welchen wieder die Träger E und E_1 mit ihren y förmigen Fernrohrlagern verbunden sind. Der eine derselben E, ist durch eine Fufsplatte mit dem massiven Cylinder D unabänderlich fest verbunden, während der andere, dreiseitig prismatisch geformte E_1 in dem Cylinder D_1 durch die unter ihm angebrachte Stellschraube d in verticaler Richtung etwas verstellt, durch die Prefsschraube d_1 aber festgestellt werden kann. Zugleich dient letztere, so wie die an dem anderen Ende angebrachte Schraube d_1 zum Anfafsen, wenn der obere bewegliche Theil des Niveau's im Horizonte gedreht werden soll. Auch bei diesem Apparat sind die Lager so ausgefeilt, dafs das eingelegte Fernrohr F mit seinen genau abgeschliffenen Ringen $f\,f_1$ von Glockenmetall nur in vier Punkten aufliegt. Soll das Fernrohr festliegen, so werden darüber die an den Lagern um Gelenke beweglichen Bügel $f_2\,f_3$ gelegt und durch eingesteckte Stifte befestigt. Zur Vermeidung des Drucks liegen innerhalb der Bügel kleine Kugelsegmente k von Kork.

Um dem Fernrohr immer dieselbe Lage geben zu können, findet sich am Fufs des einen Lagers ein durch ein Druckschräubchen α festzustellender Hebel β mit einem kleinen parallelepipedischen Zapfen γ, auf welchen die an den Ringen des Fernrohrs befindlichen Einschnitte passen Beim Centrieren des Fernrohrs wird das Schräubchen α ausgeschraubt und der Hebel β niedergelafsen. Die Einstellung des Huyghen'schen Oculars des Fernrohrs auf die Nivellierlatte geschieht durch den Getriebkopf G, dessen Getriebe in eine Zahnstange greift. Die Röhrenlibelle H ist durch zwei Sättel auf dem Objectivrohr des Fernrohrs befestigt; an dem einen Ende befindet sich die Correctionsvorrichtung für die seitliche, an dem anderen die für die verticale Bewegung der Fafsungsröhre, deren Constructionsart aus Fig. 12. erkannt werden kann (§. 27. 5.).

Die Einrichtung zu der Verstellbarkeit des Trägers E_1 zeigt die nebenstehende Zeichnung im Durchschnitt.

Die grobe Horizontalbewegung des oberen Theils des Niveau's ergiebt sich aus dem Vorhergehenden von selbst, wobei nur noch Fig. 58. und §. 82. verglichen werden kann. Zu der Hemmung der groben Bewegung und zur feinen Einstellung des Fernrohrs auf die Nivellierlatte, welche aber im Allgemeinen

Fig. 162.



überflüfsig ist, dient ein Klemmring mit der Klemm- und Mikrometerschraube, welche in Verbindung mit Fig. 58. in Fig. 70. (§. 95.) dargestellt sind.

Das achromatische Fernrohr hat 18 Zoll Brennweite, 18 Linien Oeffnung und eine etwa 25 malige Vergröfserung.

Der Nivellierapparat wird auf ein Scheibenstativ mit Metallkopf, der zugleich die Vertiefungen für die Spitzen der Stellschrauben des Dreifufses enthält, gestellt und durch die in Fig. 49. (§. 70.) dargestellte Befestigungsvorrichtung mit dem Stativ verbunden, so dafs der vorsichtige Transport von einem Standpunkt zum anderen, ohne eine Beschädigung des Apparats befürchten zu müfsen, vorgenommen werden kann. Bei weiteren Transporten wird die Befestigungsvorrichtung vom Dreifufs gelöst, das Fernrohr aus seinen Lagern genommen und sowohl diefs, als der untere Theil des Apparats in den mit einem Tragriemen versehenen Kasten gesetzt.

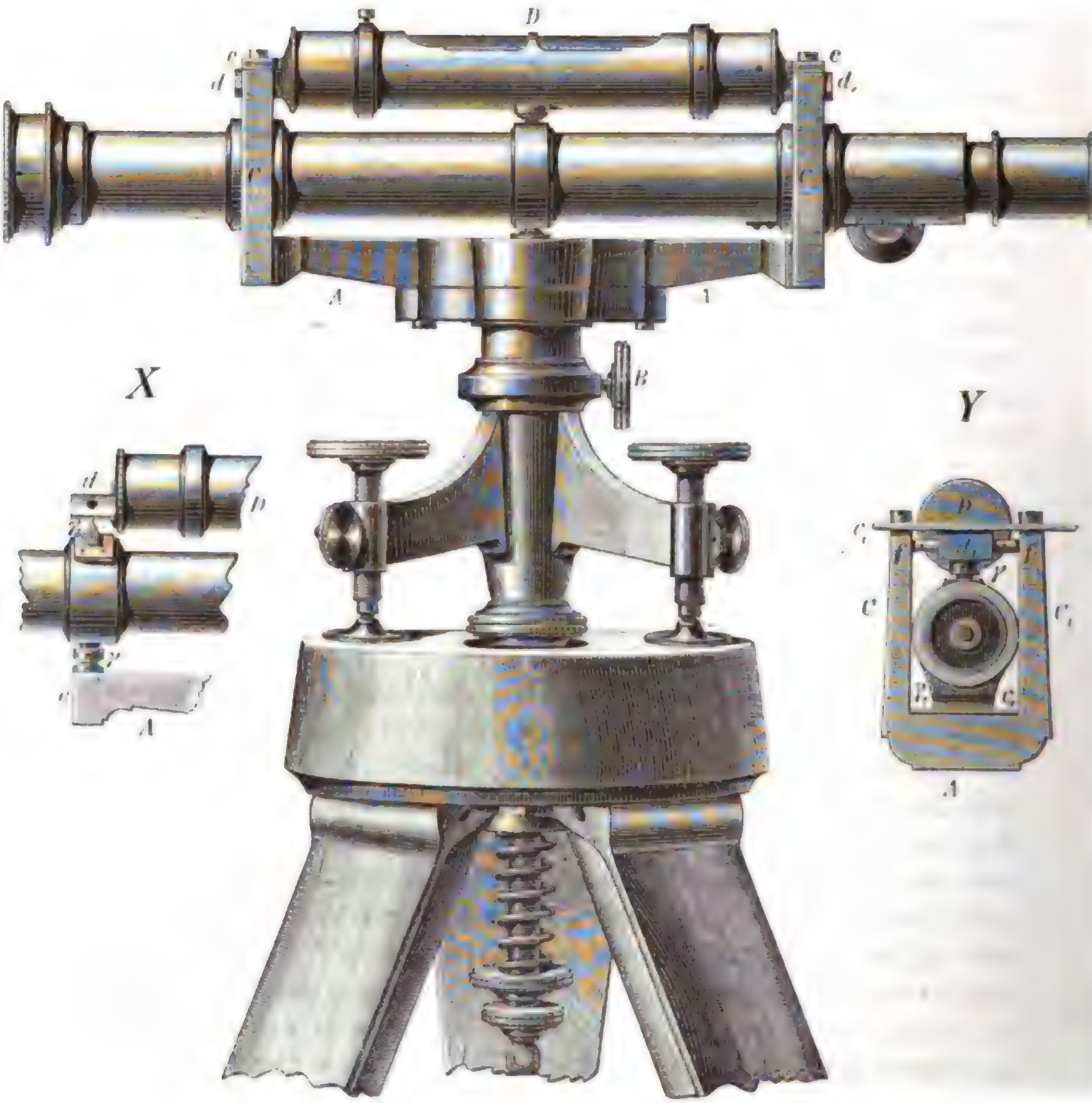
2. Die Horizontalbewegung des in Fig. 163. dargestellten, vom Hofmechanikus Breithaupt in Cassel*) angegebenen grofsen Niveau's geschieht ebenfalls durch den mit der Fernrohrträgerplatte AA verbundenen Verticalzapfen in der Büchse des Dreifufses und kann durch die Prefsschraube B gehemmt werden. Da der Verticalzapfen selbstverständlich mit Sorgfalt in die Büchse eingeschliffen ist, so erscheint die Anbringung eines Mikrometerwerks für die feine Einstellung überflüfsig. CC_1 bezeichnen die mit der Trägerplatte unabänderlich verbundenen gabelförmigen Träger des Fernrohrs, welches 20 Zoll Brennweite, 20 Linien Oeffnung seines Objectivs und eine 30 malige Vergröfserung hat. Es ruht auf stählernen Unterlagen cc_1, welche in den Trägern angebracht sind. Die Metallringe des Fernrohrs haben einerseits einen stählernen Schraubenkopf γ, andererseits ein dreiseitiges Prisma γ_1, mit welchen sie auf den Unterlagen aufliegen, welche Construction die beiden seitlichen Figuren X und Y zeigen. Die Röhrenlibelle D hat zwei Ansätze dd_1, von welchen der eine auf der erwähnten Stahlkante, der andere auf dem Schraubenkopfe der Metallringe ruht. Durch die auf den Trägern angebrachten Deckplatten ee_1 und die Stifte ff wird die Libelle in den Trägern gehörig festgehalten.

Durch diese Construction, welche zwar eine Umlegung des Fernrohrs in seinen Lagern, aber keine Drehung um seine Achse gestattet, und bei welcher die Libelle nicht unmittelbar mit dem Fernrohre verbunden ist, sondern auf den Köpfen stählerner Stellschrauben der Ringe steht, glaubt der Erfinder die Mängel zu beseitigen, welche den Instrumenten ohne die vorerwähnte Einrichtung durch die baldige Abnutzung der Ringe und die leicht entstehenden Beschädigungen erwachsen.

---

*) Sammlung von Zeichnungen mathem. und physik. Instrumente. Von F. W. Breithaupt und Sohn. Cassel. 1861.

Fig. 163.

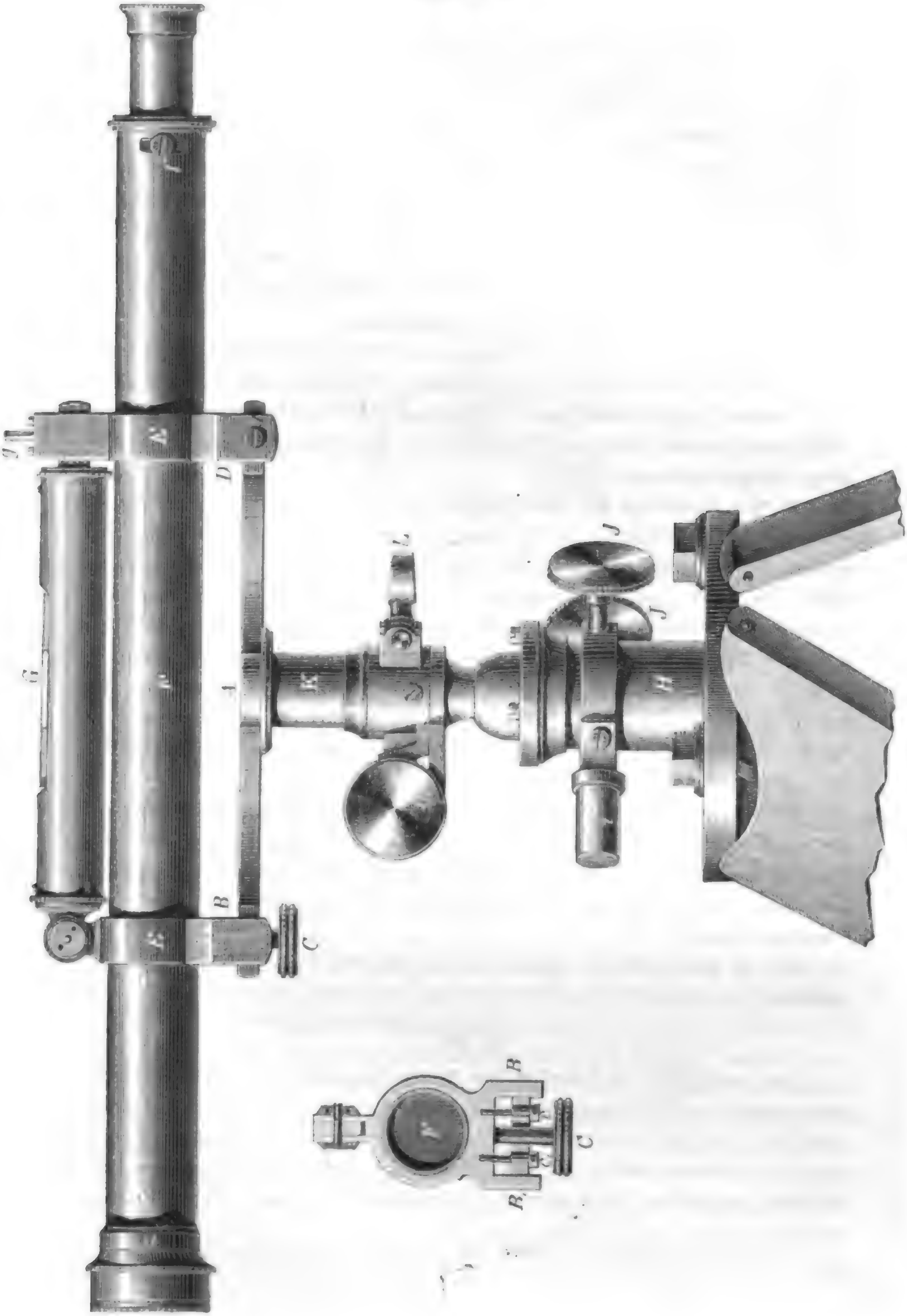


§. 337.

3. Das kleine Libellenniveau.

Bei der Construction des in Fig. 163. a. in halber natürlicher Gröfse dargestellten Libellenniveau's ist im Allgemeinen das Princip des im vorigen Paragraphen zuerst beschriebenen Apparats befolgt, nur ist das kleine Fernrohr nicht zum Umlegen in seinen Lagern eingerichtet, sondern mit letzteren unabänderlich vereinigt und der Dreifufs durch eine Nufsconstruction vertreten, wodurch aber der Preis auch nur ein halb so hoher ist.

Fig. 163. a.



An dem linksliegenden Ende der Trägerplatte A ist der verstellbare Träger B angebracht; er umgiebt, wie die seitliche Durchschnittsfigur zeigt, mit seinen gabelförmigen Stücken $B\,B_1$ die Platte A und kann mit dem Fernrohr zugleich mittelst der Stellschraube C und der beiden Zugschrauben $c\,c_1$ in verticaler Richtung bewegt werden. Deshalb läfst der zweite Träger D zwischen den Spitzen zweier Schrauben d, welche in seine gabelförmigen Stücke eingeschraubt sind, eine Drehung um die Platte A zu. Die Ringe $E\,E$, welche die Träger mit dem Fernrohr F verbinden, bilden zugleich die Unterlage der Röhrenlibelle G, welche durch Umdrehung der durch den Arm der Libellenfafsung gehenden Schraube g, ebenfalls in verticaler Richtung bewegt werden kann.

Das Fernrohr hat, da das Niveau nur bei kleinen Nivellements angewandt werden soll, ein terrestrisches Ocular (§. 55.). Die Ocularröhre gestattet durch zwei diametral gegenüberstehende Schräubchen f in Einschnitten der Objectivröhre eine Drehung, um den Horizontalfaden des Fadenkreuzes in horizontale Lage bringen zu können.

In den Metallkopf des Scheibenstativs ist der Cylinder H eingeschraubt; er umschliefst, wie Fig. 55. (§. 77.) deutlicher zeigt, den Würfel der Nufs und enthält die Muttern der beiden Stellschrauben $J\,J$, so wie die Büchse i der Spiral-Druckfeder, welche den beiden um 90° von einander abstehenden Stellschrauben den erforderlichen Widerstand entgegensetzt. Auf den von dem Fortsatze der Nufs ausgehenden Zapfen passt die Hülse K, welche mit der Trägerplatte A mittelst Schrauben verbunden ist. Die Vorrichtung zur Hemmung der groben Achsendrehung und zur mikrometrischen Einstellung des Fernrohrs auf die Nivellierlatte ist, nur in kleineren Dimensionen ausgeführt, der in Fig. 162. angegebenen gleich.

Beim Transport des Instruments vom einen Stationspunkte zum anderen ist nur die Klemmschraube L zu lüften, wodurch der bewegliche Theil des Niveau's von dem Zapfen der Nufs abgezogen werden kann. Eine über die Nufs gesetzte Lederstülpe schützt sie und die mit ihr verbundenen Theile vor Staub und sonstigem Schmutz.

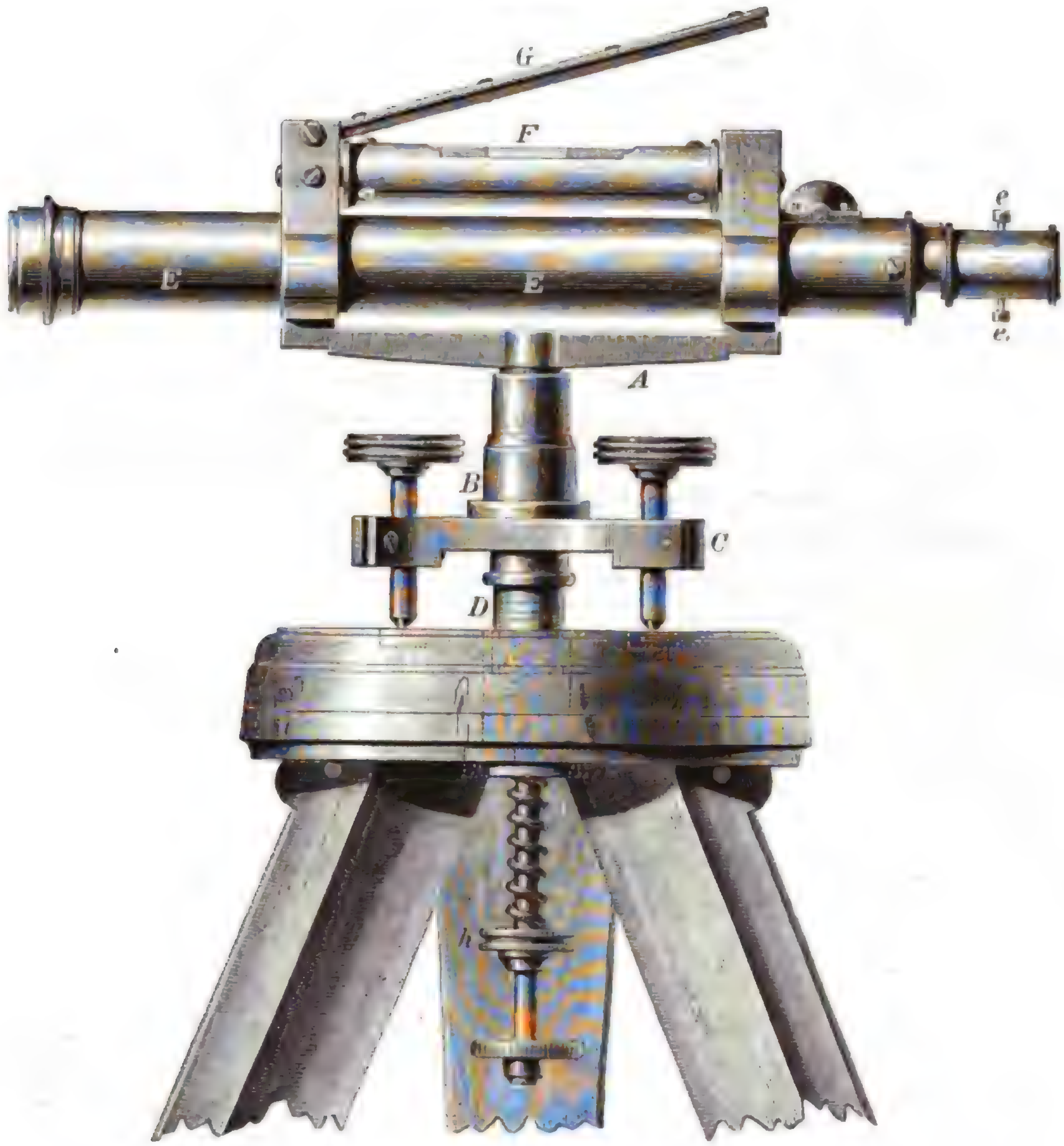
Der in Rede stehende Apparat ist von dem Mechaniker Frerk in Celle verfertigt.

§. 338.

Das in Fig. 164. im Drittel wahrer Gröfse dargestellte kleine Libellenniveau wurde zuerst von Breithaupt*) in Cassel besonders für Eisenbahnbau-Ingenieure eingeführt, der hier in Rede stehende Apparat aber ist aus der Officin von Frerk und Sohn hervorgegangen. Er unterscheidet sich von der Breithaupt'schen Construction nur dadurch, dafs über der Röhrenlibelle ein unter nöthiger Friction

*) Magazin mathem. Instrumente, Heft 3. und Sammlung von Zeichnungen etc. von F. W. Breithaupt.

Fig. 164.



zwischen Schraubenspitzen drehbarer Spiegel angebracht ist, wodurch aber selbstverständlich die ursprünglich auf der Trägerplatte, also unterhalb des Fernrohrs befestigte Libelle über dem Fernrohr angebracht werden mufste. Durch den aufgeschlagenen Spiegel soll dem Beobachter bei einem Standorte auf moorigem oder bruchigem Boden die Gelegenheit gegeben werden, sogleich vom Standorte vor dem Ocular aus die Libelle zum Einspielen zu bringen, um durch eine sonst nöthige seitliche Stellung und das Zurückkehren in die vorhin eingenommene eine Verschiebung des ganzen Apparats zu vermeiden.

Mit der Trägerplatte *A* ist ein konischer Verticalzapfen verbunden, der in die Büchse *B*, mit welcher zugleich der Dreifufs *C* mit seinen 3 Stellschrauben in Verbindung steht, eingeschliffen ist und von einer untergeschraubten Mutter

gehalten wird, die von der Hülse *D* umschlofsen ist. Durch Anziehen oder Lösen der Mutter kann der Gang der Achsendrehung beliebig moderiert werden.

Das achromatische Fernrohr *E* von 15 Linien Oeffnung, 15 Zoll Brennweite und 20maliger Vergröfserung trägt zwischen den gabelförmigen Fortsätzen der mit ihm verbundenen Träger die Röhrenlibelle *F*, deren eines Ende zwischen Schraubenspitzen drehbar ist, während das andere Ende die erforderlichen Zug- und Druckschrauben zur Correction enthält. *G* stellt den Spiegel vor, der bei dem Transport niedergeklappt wird. Zur Berichtigung der nicht normalen Lage der Visierlinie des Fernrohrs zur Umdrehungsachse, hat das Ocularrohr zwei Stellschräubchen $e\, e_1$, wodurch der Durchschnitt des Fadenkreuzes in verticaler Richtung verstellt werden kann. Die Einstellung des Fernrohrs auf die Nivellierlatte wird wieder durch eine Zahnstange mit einem Getriebe vermittelt.

Die Befestigung des Niveau's auf dem Scheibenstative geschieht mittelst eines in eine Kugel endenden Stengels, ferner einer gegen eine Einlegscheibe sich legenden Spiralfeder und einer Mutter *h* zum Anziehen. Die Kugel hat auf dem Boden des in eine Ausbohrung des Stativkopfes passenden hohlen Cylinders *D*, an die Büchse des Dreifufses geschraubt, eine feste Lage, wodurch die beabsichtigte Verbindung des Apparats mit dem Stativ erzielt wird.

Beim weiteren Transport des Instruments wird die Befestigungsvorrichtung gelöst und dann das abgenommene Niveau in einen mit einem Tragriemen versehenen Kasten gesetzt; bei kleineren Entfernungen kann das gehörig befestigte Instrument mit dem Stativ zugleich getragen werden.

Die Nivellierlatten.

§. 339.

Wie schon im §. 332. erwähnt ist, dienen die Nivellierlatten oder Nivelliertableau's zur Bestimmung der Höhe der Visierlinie von gegebenen Punkten auf der Erdoberfläche. In Hinsicht auf ihre Construction und ihren Gebrauch kann man zwei Arten von einander unterscheiden. Bei der ersten läfst sich längs eines nach dem landesüblichen Mafse eingetheilten parallelepipedischen Stabes von recht ausgetrocknetem Fichten-, Pappel-, Mahagoniholze eine kreisrunde oder rechteckige Zielscheibe von Holz oder Blech verschieben, deren Mitte in die Visierlinie gebracht wird. Die Stäbe, die auch wohl noch mit einem Firnifs überzogen sind, haben eine Länge von 10 bis 15 Fufs und sind etwa $1^1/_2$ bis 2 Zoll im Quadrat stark. Zur Bestimmung der Mitte der Scheibe hat die Vorderfläche Felder oder Kreisfactoren von Schwarz oder Roth und Weifs. An der Hinterfläche ist meistens eine Metallhülse befestigt, die an den Seitenebenen des Stabes mitttelst einer an die hintere Ebene sich anlegenden plattenförmigen Druckfeder mit der nöthigen Friction sich verschieben läfst. Durch eine Prefsschraube kann die Zielscheibe festgestellt werden. Zu der

Bewegung der Scheibe dienen auch wohl zwei an den Enden der Latte angebrachte Rollen und eine gehörig straffe Schnur ohne Ende. Der Index zur Ablesung ist gewöhnlich so an der Scheibe angebracht, dafs derselbe die richtige Höhe der nach der Mitte der Scheibe gehörigen Visierlinie angiebt. Die Eintheilung der Latte ist gewöhnlich nach dem landesüblichen Fufse, also nach dem sogenannten Duodecimalfufse ausgeführt, seine weitere Theilung aber meistens zehntheilig, so dafs der Fufs die Einheit bildet. Da das untere Ende der Latte auf den ebenen quadratisch geformten Kopf eines in den Erdboden geschlagenen Pfahls gestellt wird, so ist dasselbe, um den Nullpunkt der Eintheilung unverändert zu erhalten, mit einer 1 bis 2 Zoll hohen starken Metallfafsung versehen, deren untere Fläche also den Nullpunkt bezeichnet.

Zeigt das zu nivellierende Terrain nur unbedeutende Höhenverschiedenheiten, so bietet die in Fig. 165. dargestellte Nivellierlatte hinsichtlich ihres leichteren Transports Bequemlichkeit dar. An ihrer Vorderseite befindet sich eine Nuth, in welcher sich durch eine Innen anliegende Feder mit der erforderlichen Friction ein an dem oberen Ende die Zielscheibe A tragender Stab a auf und nieder schieben und nach erfolgtem Einstellen durch die Prefsschraube b feststellen läfst. Zur Verschiebung der Scheibe dient ein an der Vorderfläche des Stabes angebrachter Knopf. Die Hinterfläche desselben wird von einer mit der Eintheilung versehenen Messingplatte gebildet, deren Index die obere Kante der Fafsung dc darstellt. Zur Einvisierung niedriger Zielhöhen kann der erwähnte Stab aus der Nuth herausgezogen und in umgekehrter Lage wieder eingeschoben werden. Deshalb enthält die Messingplatte auch eine doppelte Bezeichnung der abzulesenden Zielhöhen in entgegengesetzter Lage.

Für bedeutendere Terrainverschiedenheiten eignet sich zweckmäfsiger die in Fig. 166. dargestellte Nivellierlatte. Bei ihr befindet sich die Eintheilung auf der einen etwas ausgestochenen Seitenebene; den Index bildet die untere Kante einer kleinen an der Hinterfläche der Scheibe A befestigten Messingplatte. Um bei hohen Zielhöhen die Einstellung der Scheibe zu erleichtern, ist mit ihrer Hülse eine mit einem Griffe versehene und zum Verlängern eingerichtete Eisenstange B verbunden. Für bedeutende Höhen ist in der Fafsung a noch eine Stange mit einer kleineren Scheibe C befestigt, deren Mitte von der Mitte der Scheibe A einen constanten Abstand, hier einen Abstand von 5 Fufs hat, so dafs demnach die für die Scheibe A gemachte Ablesung noch um 5 Fufs vermehrt werden mufs.

Die in Fig. 167. dargestellte Nivellierlatte bezieht sich auf die im §. 334. 2. angedeutete Nivelliermethode mit dem Stampfer-Starke'schen Niveau, wovon später die Rede sein wird. Sie besteht bei Anwendung der erwähnten Methode aus einem etwa 8 Fufs langen Stabe AB ohne weitere Eintheilung, an welchem zwei Zielscheiben C und D in einem constanten Abstande von einander und von dem Anfangspunkte A des Stabes befestigt sind.

Fig. 165.

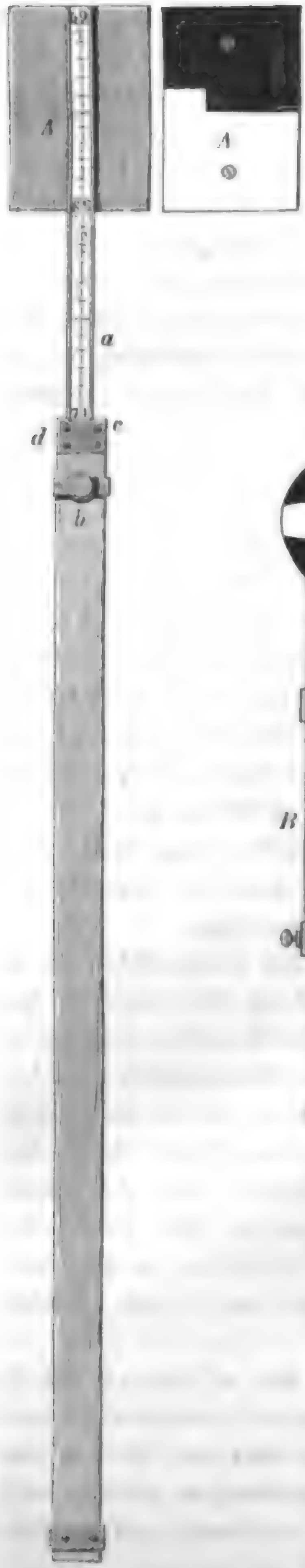


Fig. 166.

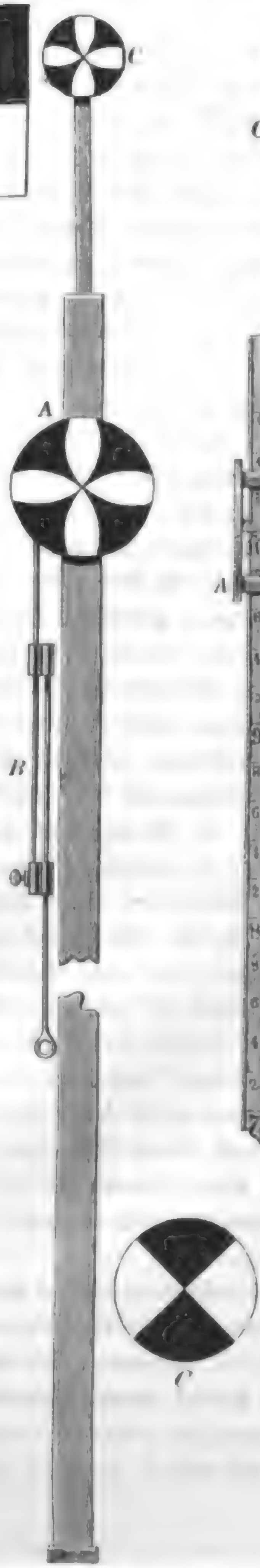


Fig. 167.

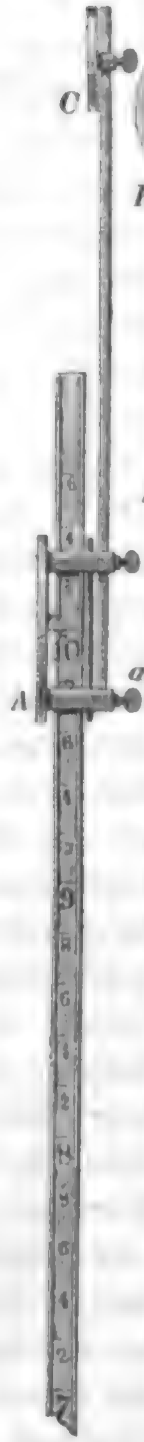


Fig. 168.

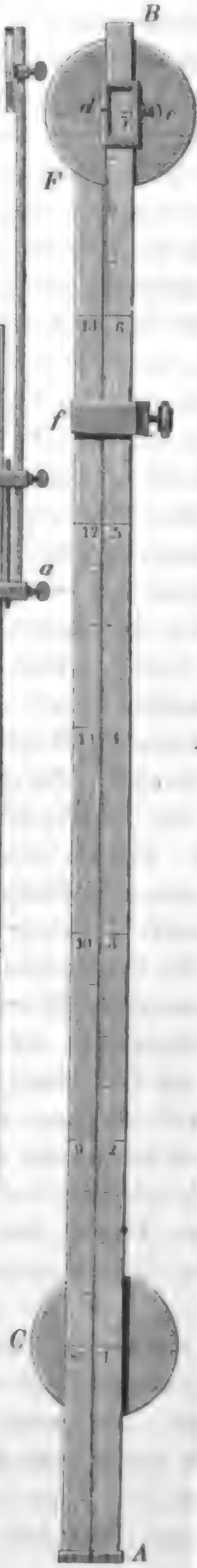
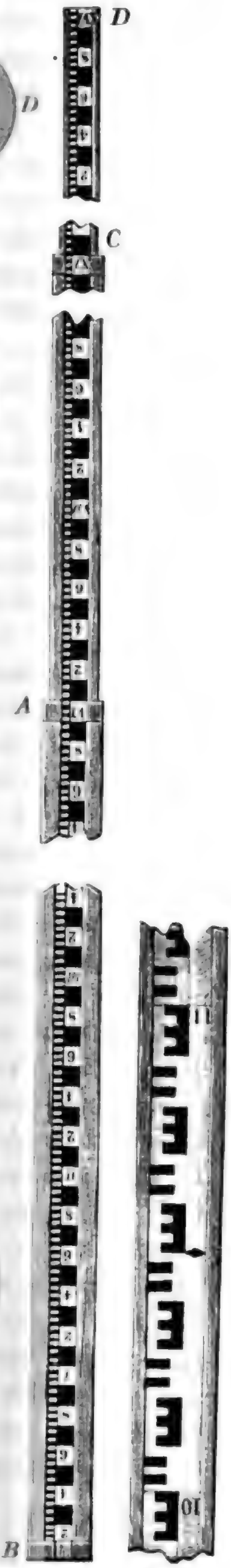


Fig. 169.



Um sie indessen auch bei der gewöhnlichen Methode des Nivellierens anwenden zu können, läfst sich die obere Scheibe mittelst der Hülse *d* an dem Stabe verschieben und durch die Druckschraube *e* feststellen. Selbstverständlich mufs dann auch der Stab eine Eintheilung enthalten, die aber nur auf Fufse und Zolle sich erstreckt, während die Ablesung der Zolltheile nach der auf dem einen Rande der rahmenförmig ausgeschnittenen Hülse *d* angebrachten Linientheilung ausführbar ist. Für bedeutendere Höhenunterschiede ist der Stab *AB* noch an einem zweiten *EF*, auf welchem Fufs- und Zollmafse des ersteren fortgesetzt sind, verschiebbar und durch eine Druckschraube der Hülse *f* an dem zweiten Stabe zu befestigen. Hierbei wird aber die Bestimmung der Linien, da die Scheibe *D* dann nicht mit Bequemlichkeit verstellbar ist, ungenau.

§. 340.

Die im vorigen Paragraph beschriebenen Nivellierlatten, deren Einrichtung die Verschiebung der Zielscheibe beim Bestimmen der horizontalen Visierlinie fordern, wird man nicht nur bei den mit schwächeren Fernröhren versehenen Nivellierwerkzeugen anzuwenden haben, sondern auch bei solchen, wo das Fernrohr durch Dioptern vertreten wird oder ihrer Natur nach gar kein Fernrohr oder keine Dioptern enthalten, bei welchen aber doch die Darstellung des scheinbaren Horizonts unmittelbar möglich ist. Es bedarf kaum der Bemerkung, dafs bei der Anwendung solcher Latten der Geometer immer von der Geschicklichkeit des an der Latte stehenden Gehülfen abhängen und zugleich eine Controle über die Richtigkeit der Ablesung nöthig wird, selbst wenn die Zeit, die zum Einstellen der Scheibe erforderlich ist, unberücksichtigt bleibt. Dieser Umstand wird aber um so mehr zu erwägen sein, da der Geometer oft auf die Benutzung verschiedener Gehülfen angewiesen ist. Bei gröfseren, und selbst auch bei kleineren Libellenniveau's, die mit guten, d. h. sehr deutliche Bilder liefernden Fernröhren ausgestattet sind, werden deshalb meistens Nivellierlatten ohne Zielscheiben angewandt, welche mit einer durch Schwarz oder Roth und Weifs deutlich dargestellten Eintheilung, die mindestens bis auf 2 Linien oder Zweihundertstel Fufs ausgeführt sind und wobei der Hundertstelfufs noch sicher geschätzt werden kann. Sie wurden zuerst von Reichenbach mit seinen mit einem Dreifufs versehenen Libellenniveau's eingeführt.

Die in Figg. 168. und 169. dargestellten Latten haben die eben erwähnte Eintheilung, bei beiden nur auf verschiedene Weise dargestellt. Die Latte der Fig. 168. stellt ein Parallelepipedum *AB* von 6 Fufs Höhe und von quadratischem Durchschnitt von 3 Zoll Seite vor. Die Vorderfläche desselben enthält auf einer ausgestochenen Ebene die Eintheilung bis zu 6 Fufs Höhe. Aus einer Aushöhlung desselben kann durch Nachlafsen einer im Innern angebrachten Druckfeder, ein zweiter parallelepipedischer Stab *AC* bis zu 11 Fufs und aus diesem wieder auf dieselbe Weise ein dritter *CD* bis zu 16 Fufs Höhe ausgeschoben

werden, so dafs also Höhenunterschiede bis zu letzterer Höhe bestimmt werden können. Auf der Eintheilung, die eine gleiche Breite bei den drei Stäben besitzt, sind die Zehntelfufse durch Schwarz, die Fufse aber durch Roth bezeichnet; in der vorliegenden Zeichnung aber ist diese Verschiedenheit nur durch arabische und römische Ziffern dargestellt.

Die in Fig. 169. dargestellte Latte kann aber bei einer Veränderung in der Bezeichnung der Eintheilung auf dieselbe Weise eingerichtet sein; nur ist dabei zu befserer Kenntlichmachung der Linien eine geringere Verjüngung zum Grunde gelegt.

Da es nicht die Absicht sein kann, hier alle verschiedenen Bezeichnungen der Eintheilung darzustellen, so wird in Bezug auf letztere der Leser auf die 2. Aufl. von Bauernfeind's Vermefsungskunde und auf das schon mehrfach erwähnte Breithaupt'sche Magazin mathematischer Instrumente etc. verwiesen.

Wenngleich nun nicht in Abrede zu stellen ist, dafs die Reichenbach'schen Nivellierlatten dem ausübenden Geometer beim Nivellieren entschieden Vortheile vor den Latten mit Zielscheiben darbieten: so darf doch nicht übersehen werden, dafs bei der Bestimmung der Genauigkeit oder des mittleren Fehlers für gewisse Distanzen eines zum Nivellieren anzuwendenden Libellenniveau's, ein Geschäft, dem sich eigentlich jeder Praktiker vor dem Gebrauche zu Nivellementsbestimmungen unterziehen mufs, die Nivellierlatten mit Zielscheiben deshalb vor den Reichenbach'schen einen Vortheil gewähren, als bei den ersteren die wiederholte Ablesung schon durch Verschiebung und nochmalige Einstellung der Scheibe erreicht werden kann, die durch die Einstellung der Libelle bestimmte Visierlinie des Fernrohrs aber unverändert bleibt, die unvermeidlichen Fehler also unter übrigens gleichen Umständen schon durch die wiederholte Einstellung der Scheibe sich ergeben. Bei den Reichenbach'schen Latten dagegen werden die folgenden Bestimmungen der Gefällhöhe nur durch Verstellen der Visierlinie und abermaliges Einstellen derselben durch die Libelle erreicht werden können, ein Verfahren, das unter Umständen wenigstens zeitraubender werden kann.

Die Berichtigung der Libellenniveau's zum Nivellieren der Ebenen.

§. 341.

Die Verschiedenheit in der Construction der in §§. 333. und 334. angedeuteten Nivellierwerkzeuge erfordert offenbar auch eine Verschiedenheit in der Aufsuchung ihrer Fehler und ihrer Berichtigung. Deshalb ist es zweckmäfsig, diese Untersuchungen auch für jede Classe besonders darzustellen.

§. 342.

1. Bestimmung des Ausschlages der Röhrenlibelle.

Da nicht nur die richtige Lage der Visierlinie des Fernrohrs, sondern auch die Auffindung einzelner Fehler beim Niveau durch die Genauigkeit der Röhrenlibelle bedingt wird: so mufs diese Bestimmung allen folgenden Untersuchungen vorangehen, wozu aber §. 24. die erforderliche Anweisung giebt. Ob nun auch die Empfindlichkeit der Röhrenlibelle mit der optischen Kraft des Fernrohrs im Einklange steht, erfährt man am einfachsten, wenn man das Fernrohr in die Richtung der einen Stellschraube des Dreifufses oder der Nufs bringt, mit jener die Luftblase einstellt und das Fadenkreuz auf einen deutlich markierten entfernten Punkt, z. B. der aufgestellten Nivellierlatte richtet. Verstellt man nun die Stellschraube etwas und bringt die Luftblase wieder zum Einspielen, so mufs der vorige Visierpunkt abermals vom Fadenkreuz getroffen werden. Nachdem diefs Verfahren mehrere Male mit demselben Erfolge wiederholt ist, kann man der Libelle die erforderliche Empfindlichkeit beilegen. Bei einem beständigen Hin- und Herschwanken der Luftblase nach jedem Einstellen ist die Empfindlichkeit zu grofs; diese nützt nicht, sondern wirkt nur störend auf das Fördern des Nivellierens ein.

§. 343.

2. Horizontalstellung des Horizontalfadens im Fadenkreuz.

Während es bei den Horizontalwinkelmefsern hauptsächlich nur auf die Coincidenz des Durchschnittspunktes des Fadenkreuzes mit dem Bilde des einvisierten Objects ankommt, die Nichthorizontalität des einen Fadens also weiter keinen nachtheiligen Einflufs auf die Winkelbestimmung ausübt, wirkt bei Nivellierwerkzeugen, besonders wenn man au die Scheibe der Latte einstellt, die Nichthorizontalität mindestens störend, oft aber auch sogar nachtheilig. Daher ist dieser Fehler zu verbefsern.

Man stelle das Niveau horizontal, bringe das Bild eines scharf markierten Punktes nach §. 48. in die Ebene des Fadenkreuzes und führe den Obertheil desselben im Horizonte sanft hin und her, so mufs das Bild des Punktes fortwährend mit dem Faden zusammenfallen. Zur Berichtigung einer etwa gefundenen Abweichung wird bei dem Apparate der Fig. 160. die eine der beiden einander gegenüberliegenden Stellschrauben $\delta\ \delta$ (Figg. 29. und 30) gelöst und die andere eben soviel angezogen, bis durch die drehende Bewegung der Ocularröhre die obige Bedingung erfüllt ist. An den Apparaten der Figg. 162. und 163. wird, da die erwähnten Stellschrauben wegen des vorhandenen Getriebes mit Zahnstange fehlen, der vordere Theil der Ocularröhre an dem eingeschnittenen Schraubengewinde gedreht. Bei den Apparaten der Figg. 163. a. und 164. geschieht die Verstellung der Ocularblendung durch Drehung der Ocularröhre

in den in der Objectivröhre vorhandenen Einschnitten mittelst zweier Schraubenköpfe *f*.

§. 344.

3. Die Centrierung des Fernrohrs.

Wenn der Durchschnittspunkt der Kreuzfäden nicht in der geometrischen Achse der Ringe des Fernrohrs liegt, so wird von einem nachtheiligen Einflufs dieses Fehlers nur insofern die Rede sein können, als beim Einstellen des Fernrohrs auf die Nivellierlatte, das Fernrohr entweder keine unabänderliche Lage in den Lagern der Trägern haben sollte, oder wenn es umgelegt wird, die Durchmefser der Ringe nicht vollkommen gleich sind.

1. Man richte den Durchschnittspunkt des Fadenkreuzes auf die Scheibe einer etwa 30 bis 40 Ruthen entfernten Nivellierlatte und stelle die Scheibe nach der Visierlinie genau ein. Darauf drehe man das Fernrohr in seinen Lagern, ohne diese aber zu verwechseln, um 180⁰ und untersuche, ob der Kreuzungspunkt wieder genau die Mitte der Scheibe trifft. Ist diefs der Fall, so liegt der Kreuzungspunkt in der geometrischen Achse der Ringe. Zeigt sich eine Verschiedenheit bei beiden Einstellungen, so stelle man die Scheibe auf das arithmetische Mittel beider Höhen und richte auf diese das Fernrohr, durch Verstellung seines Fadenkreuzes, ein. Zur Versicherung des Erfolges wird das Verfahren wiederholt.

Auf dieselbe Art wird die Untersuchung in einer Lage des Fernrohrs vorgenommen, die von der zuerst erwähnten um 90⁰ abweicht, wobei also der zuerst senkrecht stehende Faden eine horizontale Lage bekommt. Die Verbefserung geschieht dann offenbar an den beiden andern, jetzt in senkrechter Lage sich befindenden Stellschräubchen des Fadenkreuzes.

Es reicht zwar zum Erkennen des Fehlers schon hin, wenn man das Fernrohr in seinen Lagern beliebig dreht; allein zur Bestimmung der Gröfse desselben, mufs die Umdrehung 180⁰ betragen.

2. Bei dem in Fig. 162. dargestellten Apparate wird man daher vor der Untersuchung durch Lösung des Schräubchens α den Hebel β nieder zu lafsen haben, um das Fernrohr in seinen Lagern drehen zu können. Die Verbefserung wird bei der ersten Untersuchung an den Schräubchen δ, δ_1, bei der zweiten aber an δ_2, δ_3, von denen in der Zeichnung aber nur δ_2 sichtbar ist, vorgenommen. Schliefslich wird der Hebel β wieder in seine ursprüngliche Lage gebracht, wodurch das Fernrohr dann beim Beobachten eine unabänderliche Lage behält.

3. Da der Apparat der Fig. 160. aber ein distanzmefsendes Fernrohr mit verstellbaren Fäden enthält, so ist die etwa nöthige Verbefserung durch die erwähnten Stellschräubchen unthunlich, sondern kann nur durch Verstellung der Ocularröhre gegen das Objectivrohr vorgenommen werden. Zu diesem Zwecke

werden in Figg. 29. und 31. zunächst die vier Zugschrauben $z\ z_1\ z_2\ z_3$ gelöst und dann wird durch Anziehen und Lösen der Stellschrauben s und s_2 bei der ersten Untersuchung und durch s_1 und s_3 bei der zweiten die Objectivröhre in dem Deckel BB, also gegen die Ocularröhre verstellt. Schliefslich sind dann die Zugschrauben $z\ z_1$ . . . wieder fest anzuziehen.

Bei dem Apparat der Fig. 163. kann die Untersuchung nicht vorgenommen werden, da das Fernrohr in seinen Lagern nicht gedreht werden kann.

§. 345.

4. Untersuchung der rechtwinklichten Lage der Verticalachse gegen die Visierlinie des Fernrohrs.

Wenn mit den oben beschriebenen Libellenniveau's die Nivellierung der Ebenen vollkommen richtig ausfallen soll, so ist auf die vorliegende Bestimmung ganz besonders Sorgfalt zu verwenden.

1. Man wendet dazu am zweckmäfsigsten zwei mit Fadenkreuzen versehene Hülfsfernröhre an und stellt dieselben, nachdem man jedes einzelne vorläufig auf ein unendlich entferntes Object deutlich eingerichtet hat, so mit ihren Objectiven einander gegenüber, dafs ihre Visierlinien eine Gerade bilden. Bringt man dann das Niveau zwischen beide, richtet sein Fadenkreuz zuerst auf das des einen Hülfsfernrohrs, so mufs bei einer Umdrehung des Niveaufernrohrs um 180° sein Fadenkreuz auch das des zweiten Hülfsfernrohrs decken, wenn die Visierlinie des Fernrohrs des Niveau's zum Verticalzapfen rechtwinklicht stehen soll. Zeigt sich aber eine Abweichung, so wird ihre eine Hälfte durch die Stellschrauben des Dreifufses oder der Nufs, die andere aber entweder durch Verstellung des einen Achsenlagers oder der Visierlinie des Fernrohrs verbefsert.

Bei dem Apparate der Fig. 160. wird daher das links liegende Achsenlager durch die daselbst angebrachten Zug- und Druckschrauben, wie beim Theodolith, verstellt. Bei dem Apparate der Fig. 162. löst man erst die Druckschraube δ_1 und bewegt dann die Stellschraube d durch Lösung oder Anziehung, je nachdem der Träger E_1 gehoben oder gesenkt werden soll und zieht darauf δ_1 wieder fest an.

Durch die Schrauben C, c und c_1 in Fig. 163. a. wird auf dieselbe Weise der Träger BB_1 mit dem daran befestigten Fernrohr verstellt werden können. Soll z. B. der Träger gesenkt werden, so ist die Druckschraube C zu lösen und sind die Zugschrauben $c\,c_1$ fest anzuziehen.

Bei dem kleinen Niveau der Fig. 164. ist die erwähnte Hälfte nur an den beiden Stellschräubchen $e\,e_1$ der Ocularblendung zu verbefsern.

Bei dem Niveau der Fig. 133. endlich ist, nachdem die Richtigkeit der Libelle auf bekannte Weise durch Umsetzen geprüft und berichtigt ist, vor der in Rede stehenden Prüfung zu untersuchen, ob die Unterlage der Libelle, nämlich die durch γ und γ_1 gedachte Linie, den Lagerpunkten des Fernrohrs, nämlich

der Linie $c c_1$ parallel ist. Bringt man die Libelle zum Einspielen, so mufs beim Umlegen des Fernrohrs nebst der darauf stehenden Libelle, die Luftblase der letzteren ebenfalls einspielen. Eine etwa sich zeigende Abweichung ist dann zur Hälfte an dem Kopf der Schraube γ des Fernrohrs zu verbefsern. Wird darauf bei der Horizontalumdrehung des Fernrohrs nach dem zweiten Hülfsfernrohre eine Nichtcoincidenz der Fadenkreuze sich zeigen, so ist dieselbe zur Hälfte an den Schräubchen $\alpha\,\alpha$ unter der Trägerplatte $A\,A$ zu verbefsern.

Um die erste Hälfte des Fehlers bequem verbefsern zu können, ist es zweckmäfsig, das Niveau vor der Untersuchung so zwischen die beiden Hülfsfernröhre zu stellen, dafs sein Fernrohr über dem einen Arme des Dreifufses oder der einen Stellschraube der Nufs liegt.

Die Berichtigung des Fehlers wird sehr vereinfacht, wenn das zweite der Hülfsfernröhre mit einem Mikrometerocular versehen ist (§. 161.), wodurch man in den Stand gesetzt wird, die ganze Abweichung genau zu mefsen und das Fadenkreuz auf die Hälfte derselben zurück zu stellen.

Selbstverständlich ist die Untersuchung so lange zu wiederholen, bis nicht die geringste Abweichung mehr sich zeigt.

2. Statt zweier Hülfsfernröhre kann man auch nur eins, für das zweite aber ein scharfmarkiertes Object anwenden, auf welches dann nicht nur das Hülfsfernrohr, sondern auch das Fernrohr des Niveau's vor seiner Umdrehung um 180° gerichtet wird.

§. 346.

Unter der Voraussetzung einer Gleichheit der Durchmefser der glockenmetallenen Ringe des Fernrohrs kann man die in Rede stehende Untersuchung auch auf folgende Weise ausführen. Man richte das Fadenkreuz des Fernrohrs auf ein entferntes, deutlich markiertes Object, bringe z. B. die Zielscheibe der Nivellierlatte in die Richtung der Visierlinie, drehe darauf den beweglichen Theil des Niveau's um 180° und lege das Fernrohr in seinen Lagern um. Wird nun ein anderer Punkt der Zielscheibe von dem Fadenkreuz getroffen, so drückt sein Verticalabstand vom ersten wieder den doppelten Fehler aus, dessen Hälfte daher wieder, wie im vorigen Paragraphen angegeben wurde, verbefsert wird.

Da die vorausgesetzte Gleichheit der Durchmefser der Ringe erst durch das im folgenden Paragraphen angegebene Verfahren erkannt werden kann, so kann das obige Verfahren eigentlich nur als Probe des im vorigen Paragraphen angegebenen dienen.

§. 347.

5. Untersuchungen über die Gleichheit der Durchmefser der Ringe des Fernrohrs.

1. Nachdem nach §. 345. der etwa vorhandene Fehler in der Lage der Verticalachse gegen die Visierlinie des Fernrohrs vollständig berichtigt ist, erfährt man die Gleichheit oder Ungleichheit der Ringdurchmefser des Fernrohrs einfach

durch Umlegung desselben in seinen Lagern. Wird dann der Durchschnitt des Fadenkreuzes des Niveaufernrohrs genau den Durchschnitt desselben im Hülfsfernrohr treffen, so ist eine Gleichheit der Ringdurchmefser vorhanden. Zeigt sich aber hierbei eine Abweichung, so kann zwar die hierdurch begründete Ungleichheit der Ringdurchmefser beim Nivellieren dadurch einflufslos gemacht werden, dafs man in beiden Lagen des Fernrohrs das Gefälle bestimmt und von den erhaltenen Resultaten das arithmetische Mittel nimmt; allein man wird meistentheils lieber diejenige Lage des Fernrohrs, die es nach der Berichtigung des im §. 345. bemerkten Fehlers hatte, beim Nivellieren stets beibehalten, indem dieselbe ja aus der Lage des Oculars gegen den verstellbaren Träger immer leicht zu fixieren ist.

2. Hat das Libellenniveau, wie das in Figg. 160. oder 163. dargestellte, eine Aufsetzlibelle, so würde die aus der Ungleichheit der Ringdurchmefser sich ergebende verschiedene Neigung der Fernrohrachse gegen den Horizont nach §. 33. bestimmt und dann beim Nivellieren auf ähnliche Weise in Rechnung gebracht werden können, wie sie bei Horizontal- und Verticalwinkelmefsungen in Rechnung gebracht wurde. Allein auch von diesem Verfahren wird man gern beim Nivellieren abstrahieren. Will man also vom Centrieren des Fernrohrs ganz absehen, so dürfte eine unabänderliche Verbindung des Fernrohrs mit seinen Trägern, wie sie die in den Figg. 163. a. und 164. dargestellten Apparate enthalten, nicht mangelhaft genannt werden können.

§. 348.

6. Untersuchung der parallelen Lage der Libellenachse mit der Visierlinie des Fernrohrs.

1. Nachdem wieder der in 4. angegebene Fehler nach §. 345. vollständig beseitigt ist, stelle man das Niveau so auf, dafs die durch die Träger gedachte Verticalebene durch die eine Stellschraube der Horizontalstellungsvorrichtung geht und bringe mit derselben die Luftblase zum Einspielen. Dreht man darauf den Obertheil des Niveau's um 180° und spielt die Luftblase wieder ein, so ist der Apparat berichtigt. Zeigt sich aber eine Abweichung, so ist bei den Niveau's, bei welchen die Libelle mit dem Fernrohr verbunden ist, die Hälfte derselben an der Stellschraube der Horizontalstellungsvorrichtung, die andere an der Correctionsschraube zu verbefsern und das Verfahren so lange zu wiederholen, bis die Luftblase in beiden Lagen des Fernrohrs ihren Stand nicht ändert.

Bei dem Apparat der Fig. 163. dagegen richtet man das Fernrohr in einer bestimmten Lage, nachdem die Luftblase zum Einspielen gebracht ist, auf eine Nivellierlatte und liest den Stand der Visierlinie ab. Bringt man dann das Fernrohr mit seinen anderen Lagerpunkten auf die Unterlage der Träger und zeigt sich dabei eine Abweichung der Visierlinie gegen die Latte, so ist die Hälfte an den Stellschräubchen der Ocularblendung zu verbefsern.

Nachdem ferner bei dem Apparat der Fig. 160. nach §. 30. die Libelle für sich berichtigt, also ihre Achse der geometrischen Achse der Ringe des Fernrohrs parallel ist, wird nur noch nach §. 344. das Fernrohr zu centrieren sein, um die Libellenachse der Visierlinie des Fernrohrs parallel zu machen. Eine nunmehrige Umlegung des Fernrohrs in seinem Lager würde dann die Gleichheit oder Ungleichheit der Ringdurchmeſser nachweisen.

Aufserdem ist dann noch bei den Niveau's, die entweder eine Aufsetzlibelle haben, oder deren Fernrohr mit der Libelle in den Lagern beweglich ist, die im §. 30. 4. angegebene Prüfung anzuwenden und ein sich zeigender Fehler nach den daselbst gemachten Angaben zu verbefsern.

§. 349.

7. Verticale Einstellung des Verticalzapfens.

Man stellt das Niveau, wie im vorigen Paragraphen angegeben wurde, auf, bringt die Luftblase sowohl in dieser, als auch in einer anderen Lage, die gegen die erste um 90° abweicht, zum Einspielen und wiederholt diese Einstellungen so lange, bis keine Verstellung der Luftblase mehr wahrzunehmen ist. Wird nun der Obertheil ganz im Horizont herumgeführt, so mufs die Luftblase ihren Stand unverändert beibehalten und es beschreibt die Visierlinie des Fernrohrs den scheinbaren Horizont.

Es ist beim Aufstellen des Niveau's zum Nivellieren zweckmäfsig, gleich anfangs dem Stativ die Stellung zu geben, dafs die eine Stellschraube der Horizontalstellungsvorrichtung in die Richtung nach der Nivellierlatte fällt, um beim Visieren des Fernrohrs auf die Latte, das genaue Einstellen der Luftblase durch die erwähnte Stellschraube leichter ausführen zu können.

§. 350.

Ist das Libellenniveau noch mit einem Horizontalkreise oder aufserdem noch mit einem Verticalkreise versehen, wie der in Fig. 160. dargestellte Apparat, so sind auch noch die unter V. S. 311 u. f. angegebenen Berichtigungsmethoden, sofern sie nicht schon mit den hier vorangegangenen Berichtigungen zusammenfallen, anzuwenden.

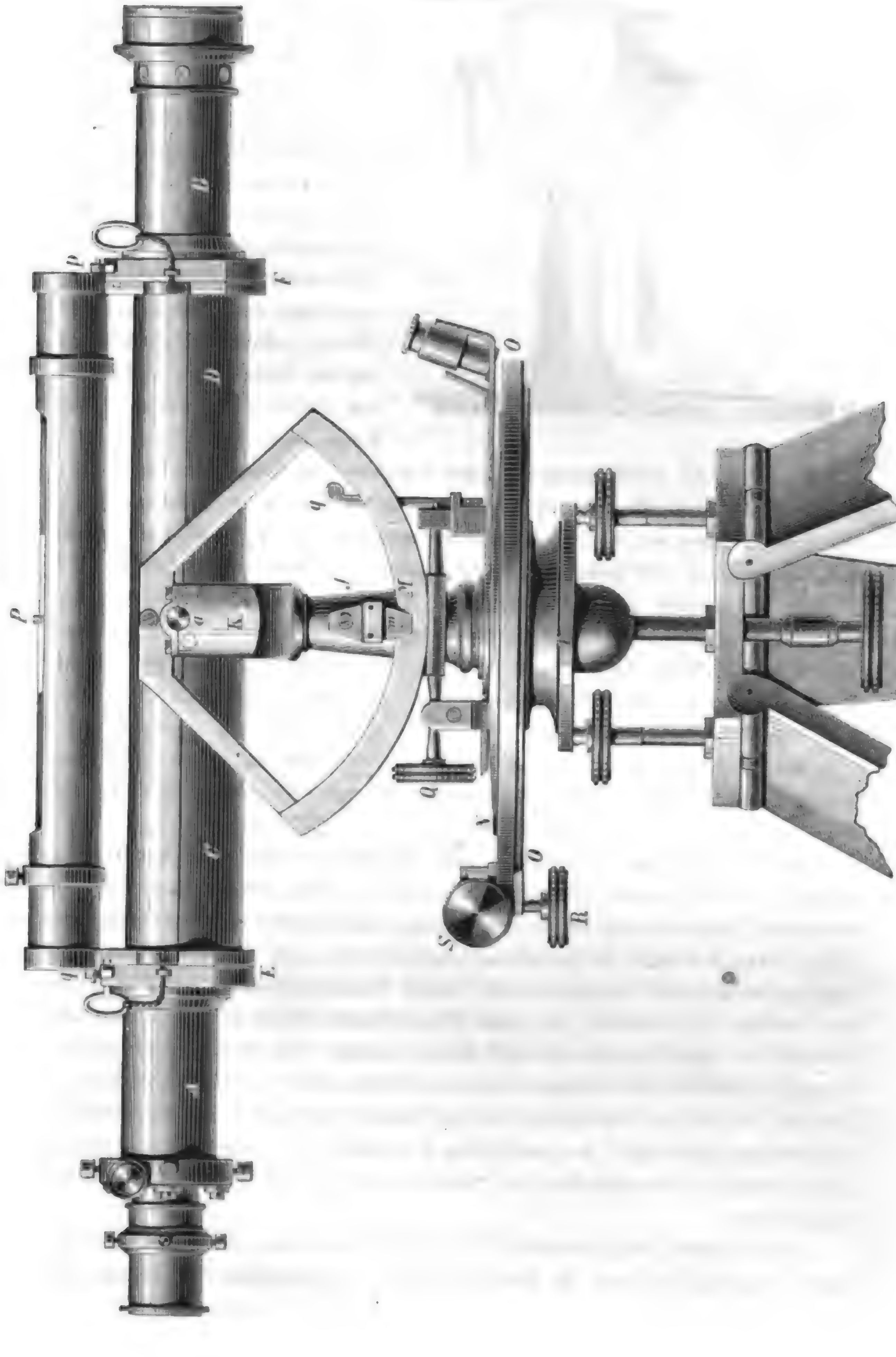
B. Die Libellenniveau's zum Nivellieren der Linien.

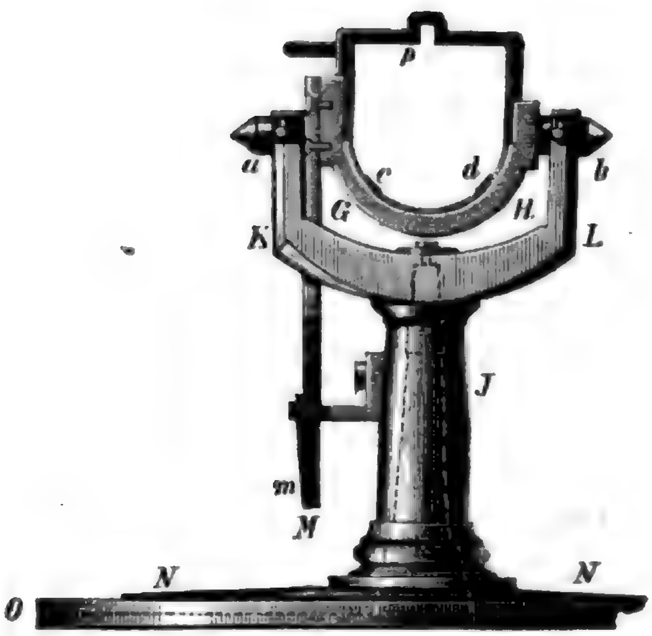
§. 351.

1. Das Ertelsche grofse Niveau mit Horizontalkreis und Distanzmefser.

Diefs in Fig. 170. im Drittel wahrer Gröfse dargestellte, vom verstorbenen Hohnbaum in Hannover verfertigte Niveau unterscheidet sich vorzüglich dadurch von den sonst üblichen Constructionen, dafs die *y* förmigen Lager des Fernrohrs *A B* hier durch einen hohlen Halbcylinder *C D* vertreten werden, der wieder an

Fig. 170.





seinen Enden mit zwei ebenfalls halbcylindrischen starken Ringen *EF* verbunden ist, um eine Biegung des Fernrohrträgers *CD* zu verhindern. Dieser ist wieder mit einem starken Halbringe *GH* (s. die nebenstehende Figur) zusammengelöthet, in dessen parallelepipedischen Fortsätzen zwei cylindrische Stahlzapfen *ab* eingeschraubt sind, welche von den oberen senkrechten Theilen der von der Säule *J* sich ausbreitenden Gabel *KL* getragen und durch übergelegte Kappen gehalten werden. An der Flansche des einen parallelepipedischen Fortsatzes ist der Höhenbogen *M* befestigt, dessen Vernier *m* an der Säule seine Befestigung hat. Die Säule *J* bildet mit der Alhidade *NN* ein Ganzes und läfst sich um den mit dem Limbuskreise *OO* verbundenen Verticalzapfen im Horizonte drehen.

An jedem Ende des Fernrohrträgers *CD* sind zwei convex abgedrehte Stahlplatten *cd* befestigt, auf welche die Metallringe des Fernrohrs zu liegen kommen. Auf letztere wird die Aufsetzlibelle *P* gesetzt, welche durch 2 Bügel *pp*, die an den Fortsätzen der Ringe *EF* befestigt sind, und durch vorgesteckte Stifte vor dem Herabfallen gesichert wird.

Das Fernrohr ist als Distanzmefser mit verstellbaren Fäden (§. 50. und Figg. 29. bis 31.) eingerichtet und daher auf dieselbe Weise construiert, wie die Fernröhre des Niveau's der Fig. 160.

Unter dem Höhenbogen findet sich auf einem Gestell die Schraube ohne Ende *Q*, welche durch Niederdrücken des mit einem Excentrik versehenen Drückers *q* in die in dem Rande des Bogens eingeschnittenen Muttergänge eingreifen kann und dann als Elevationsschraube (§. 334.) zum Einstellen der Libelle und der horizontalen Visierlinie dient. Durch Niederdrücken des Hebels *q* treten die Gewinde der Schraube aus ihren Muttergängen heraus und kann dann das Fernrohr in einer Verticalebene grob bewegt werden. Zur Hemmung der groben Horizontalbewegung der Alhidade, so wie zur feinen Einstellung dient die Klemmschraube *R* mit der Halterplatte und die Mikrometerschraube *S*. Zur Ablesung der Theilung des Limbus, der unmittelbar in Sechstelgrade getheilt ist, und dessen zwei Verniere 10 Sekunden angeben, dient ein um den Fufs der Säule *J* gelegter Loupenhalter.

Der Apparat wird mit dem Teller *T*, der mit dem Horizontalkreise aus einem Stück besteht, auf die Knöpfe der drei Stellschrauben *UU* gestellt und

mit der Centralschraube *V* befestigt. Die Stellschrauben dienen zum Horizontalstellen des Kreises und die Centralschraube zum Befestigen des Niveau's auf dem Scheibenstativ. (Man vergl. §. 79. und Fig. 57.)

Ein mit einem Tragriemen versehener Kasten nimmt einzeln die Libelle, das Fernrohr und die übrigen Theile des Instrumentes auf, während die Stellschrauben und die Centralschraube mit dem Stativkopf durch eine Lederstülpe vor Staub gesichert werden können.

Anmerkung. Mit dieser Construction stimmt im Wesentlichen das auf Tafel 19. in der Breithaupt'schen Sammlung von Zeichnungen u. s. w. dargestellte Niveau überein, nur ist daselbst zweckmäſsiger die Horizontalstellungsvorrichtung durch einen Dreifuſs mit Stellschrauben vertreten.

Man vergl. auch Tafel XVIII. in Engelbrechts Instrumenten der Geodäsie. Nürnberg, 1852.

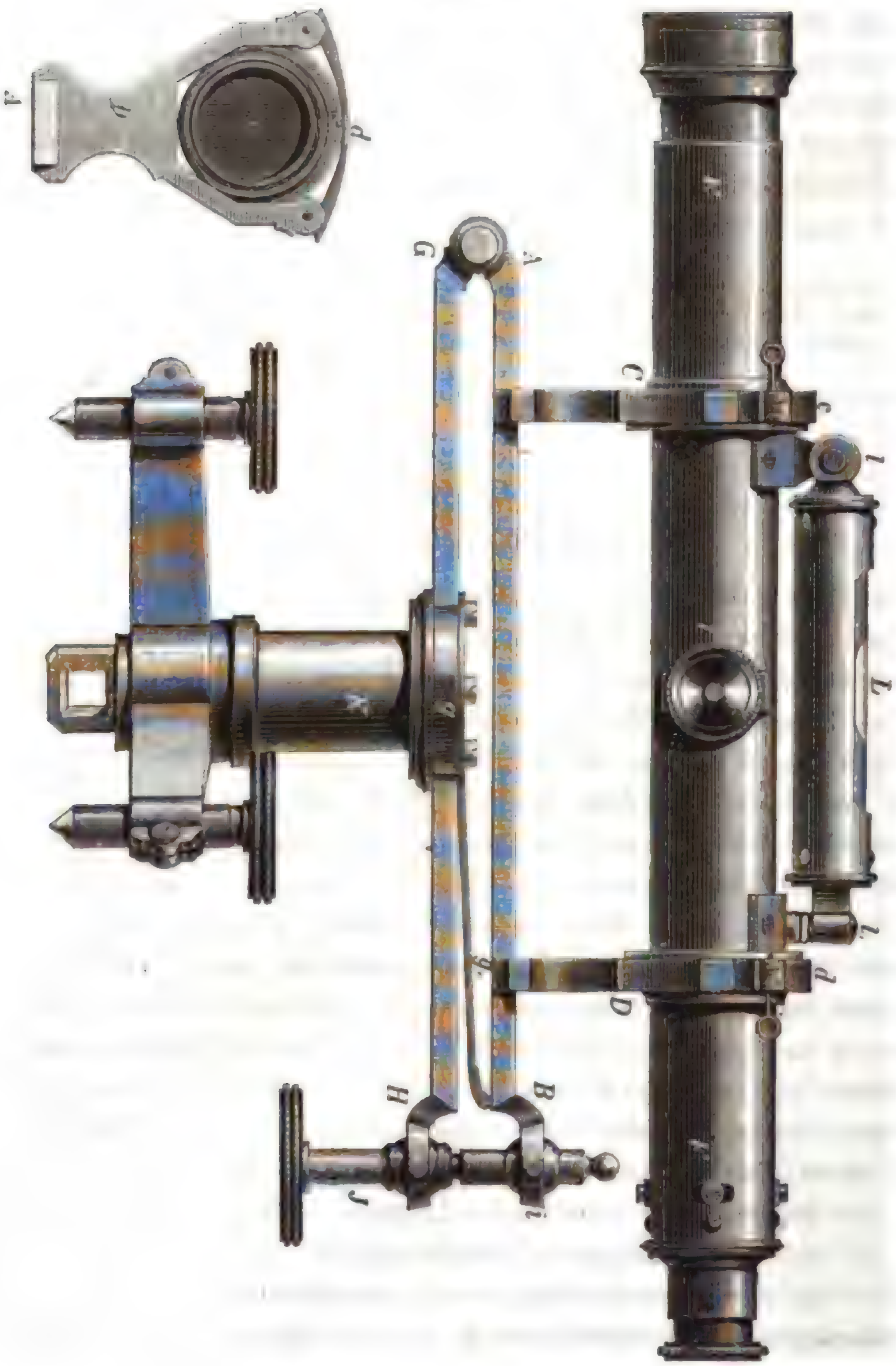
§. 352.

2. Das Sisson'sche Niveau.

Das in Fig. 171. in halber wahrer Gröſse dargestellte Niveau, dessen Construction von dem englischen Mechaniker Sisson angegeben ist, ist ebenfalls aus der Hohnbaum'schen Werkstätte hervorgegangen.

Die Trägerplatte AB, von welcher die beiden Träger C und D mit ihren $y$förmigen Lagern für das mit Metallringen versehene Fernrohr EF ausgehen, ist mit der Platte GH durch ein bei AG liegendes Charnier verbunden. Die anderen Enden beider Platten erweitern sich gabelförmig und nehmen die beiden Gabeltheile die Mikrometerschraube J, die bei i ihre Mutter hat, auf. Oberhalb der Platte GH, deren Mitte zu einer Scheibe g sich erweitert, ist eine stählerne Druckfeder g_1 mittelst Schrauben befestigt, welche mit ihrem freien Ende unter die Trägerplatte tritt und dadurch der Mikrometerschraube den nöthigen Stützpunkt darbietet. Unterhalb derselben ist eine Hülse K befestigt, mit welcher das Niveau auf den Zapfen einer mit Stellschrauben versehenen Horizontalstellungsvorrichtung gestellt wird. Die Röhrenlibelle L ist mittelst zweier Sättel, deren einer ein Charnier l und der andere die Correctionsvorrichtung l_1 trägt, mit dem Fernrohr verbunden. Letzteres wird durch zwei übergreifende Bügel cd und durch eingesteckte Stiftchen in den Trägern gehalten. Da das Fernrohr mit einem Ramsden'schen Ocular zum Distanzmeſsen versehen ist und die Ocularröhre für verschieden entfernte Objecte nicht ausgezogen werden kann: so ist der vordere Theil des Objectivrohrs mittelst des Getriebkopfes f und einer im Innern des Rohrs liegenden Zahnstange zum bequemen Ausziehen eingerichtet.

Fig. 171.



§. 353.

Das in Fig. 172. im Drittel wahrer Gröfse dargestellte Libellenniveau, dessen Construction, soviel mir bekannt, von dem Franzosen Chézy zuerst angegeben ist, von Einigen*) auch zu dem Sissonschen Niveau gerechnet, unterscheidet sich

*) u. a. von F. W. Netto, s. dessen Handbuch der Vermefsungskunde, II. 632.

Fig. 172.



im Wesentlichen von dem des vorigen Paragraphen, dafs die Verticalbewegung durch zwei Elevationsschrauben, die eine normale Stellung zu einander haben, von denen aber eigentlich nur die eine zum Einstellen auf die Nivellierlatte dient, erreicht wird, dem Fernrohr mit der Libelle also dadurch schon eine horizontale Lage gegeben werden kann, wozu bei dem Apparat der Fig. 171. noch ein Dreifufs oder eine andere durch Stellschrauben horizontal zu stellende Unterlage erforderlich ist.

Das mit einem Ramsdenschen Ocular versehene Fernrohr *AB* trägt auf zwei Sätteln die Röhrenlibelle *C* und ist mit den Trägern *DE* unabänderlich verbunden. In der Mitte der Trägerplatte *FG*, durch zwei Rippen *fg* noch verstärkt, ist die konische Büchse *H* mit ihr zu einem Ganzen verbunden, die um einen Verticalzapfen des auf dem Stativ befestigten Untertheils des Niveau's sich

drehen läfst. Der erwähnte Zapfen bildet mit der Scheibe J und der mit ihr rechtwinklicht verbundenen und am Rande mit Muttergängen versehenen Zunge K ein Ganzes. Durch die Mutter h wird die Trägerplatte gegen den Zapfen gehalten, ohne die Horizontalbewegung des Obertheils zu hemmen. Unter der Zunge liegt ein hohles parallelepipedisches Lager k mit einer Schraube ohne Ende, deren Gewinde durch eine in dem Lager befindliche Spiralfeder fortwährend in den Muttergängen gehalten werden. Durch Umdrehung der Schraube kann nun das Niveau in einer Verticalebene bewegt werden, indem die Scheibe J in der Gabel $L\,L$ von den Spitzen der Schrauben $l\,l$ gehalten wird und daher um die Achse $l\,l$ drehbar ist. Das Lager k der Schraube ohne Ende ist an dem einen Gabelstück mittelst einer Schraube befestigt. Nach unten läuft die Gabel in eine ebenfalls am Rande mit Muttergängen versehene Zunge aus, die zwischen den Backen eines Charniers M liegt. Letztere nehmen auch zugleich das Lager einer zweiten Schraube ohne Ende N zwischen sich auf und bildet dessen Unterlage der konisch-sphärische Umdrehungskörper O. Durch die Umdrehung beider Schrauben ohne Ende kann demnach dem Obertheile des Instruments eine Bewegung in zwei Verticalebenen ertheilt werden, die gegen einander eine normale Lage haben. Der untere konische Theil des Umdrehungskörpers läuft in eine dreiarmige Platte $p\,p$ aus, welche durch drei Zugschrauben $P\,P$ auf dem Metallkopfe des Scheibenstativs befestigt und wodurch zugleich ein bequemer Transport des Apparats vom einen Stationspunkte zum anderen möglich gemacht wird.

Der in Rede stehende Apparat ist ebenfalls vom verstorbenen Mechaniker Hohnbaum angefertigt.

§. 354.

3. Das Breithaupt'sche Compensations-Niveau.

Das von dem verstorbenen F. W. Breithaupt in Cassel 1845 erfundene Compensations-Niveau soll nicht allein dem Praktiker Gelegenheit geben, auf eine leichte und zugleich rasche Weise zu untersuchen, ob nicht einzelne Theile des bereits berichtigten Instruments durch den Transport oder Temperatureinflüfse einige die Genauigkeit des Nivellierens störende Veränderungen erlitten haben, sondern es soll auch in den Stand setzen, ohne nochmalige Berichtigung sogleich dadurch ein richtiges Nivellement auszuführen, dafs man durch Drehung des Fernrohrs um 180° eine zweite Mefsung macht und von beiden das arithmetische Mittel nimmt. Obgleich nun, wie im §. 362. gezeigt wird, schon durch die Methode des Nivellierens aus der Mitte der Station selbst mit einem nicht fehlerfreien Niveau richtig nivelliert werden kann, was aber bei der Anwendung der Methode, aus dem Endpunkte zu nivellieren, nicht möglich ist; so dürfte das in Rede stehende Niveau bei dem Nivellieren der Querprofile, wobei man meistens auf die letztgenannte Methode angewiesen ist, dem Praktiker recht willkommen sein.

Die Fig. 173. giebt von demselben eine perspectivische Ansicht.*) Eine Beschreibung, sowie eine geometrische Darstellung der wesentlichsten Theile desselben im Grundrifs und in der Seitenansicht findet sich im 154. Bande von Dingler's

Fig. 173.



*) Breithaupt's Sammlung von Zeichnungen u. s. w. Tafel 20.

polytechnischem Journal, S. 401 u. f., welche bei der folgenden Darstellung auch mit benutzt ist.

Das Fernrohr $A\,B$ ist in seinen ringförmigen Lagern C, D drehbar, indem dafselbe in jedem der Lager auf drei, nach Innen cylindrisch ausgeschliffenen Plättchen von s. g. Antifrictionsmetall (einer Metallcomposition von etwa 76 Theilen Zinn, 15 Theilen Kupfer und 9 Theilen Antimon *)) ruht, welche in schwalbenschwanzförmige Nuthe eingeschoben werden und von denen das eine in jedem Lager durch eine Feder und ein darauf wirkendes Schräubchen auf die Fafsung des Fernrohrs gedrückt wird. Einer nach längerer Zeit sich etwa zeigenden Abnutzung kann leicht durch neue Plättchen, die dem Werkzeuge beizugeben sind, abgeholfen werden.

Die seitlich vom Fernrohr angebrachte, mit den nöthigen Correctionsschrauben versehene Röhrenlibelle ruht in Lagern, welche mit dem Fernrohr durch ringförmige Bänder E, F in Verbindung stehen, aber auch die erforderlichen Correctionsschrauben enthalten. An das dem Ocular zugekehrte Ringlager ist eine Platte e angeschraubt, welche Links und Rechts in zwei dem Halbmefser der Libellenlager entsprechende kreissectorförmige Platten ausläuft, deren Mittelpunkte aber eine solche Lage haben, dafs die geometrische Achse des Fernrohrs eine Winkelbewegung von 180^0 macht, wenn durch diese Drehung das Libellenlager von dem einen Sector in den anderen gebracht wird. Zum Zweck dieser Drehung der Libelle ist ihre Hülse Oben und Unten aufgeschlitzt. Der obere, gut ausgeschliffene Theil der Glasröhre enthält eine Scale, wonach der Stand der Luftblase geschätzt wird, wenn die Libelle auf der einen Seite des Fernrohrs sich findet, während in der entgegengesetzten Lage die mit der Hülse verbundenen zwei Stege den Stand der Luftblase eben so bequem erkennen lafsen. Aufserdem enthält eine nachher erwähnte Platte eine Dosenlibelle d, durch welche die Aufstellung des Instruments mittelst der Stellschrauben des Dreifufses erleichtert wird.

Die Libellenfafsung dreht sich um eine Linie $e_1\,\varepsilon$ zwischen zwei Schraubenspitzen, welche an den kreisförmigen Fafsungsdeckeln angebracht sind; die eine derselben ist mittelst eines vorliegenden prismatischen Schiebers und einer dagegen wirkenden Schraube e_1 verstellbar, durch die seitliche Druckschraube e_2 aber in seiner Führung festzustellen.

Die Ringe C, D des Fernrohrs sind auf einer Platte G festgeschraubt, welche gegen die, mit der in der Dreifufsbüchse drehbaren, verticalen Umdrehungsachse verbundenen Platte H durch die Mikrometerschraube J in verticaler Richtung drehbar ist. Der Kopf der Mikrometerschraube hat eine Eintheilung, deren

*) Das Antifriction Metal der Engländer ist nach Karmarsch (Handbuch der mechanischen Technologie. 3. Aufl. I. S. 37) aus 85 Th. Zink, 10 Th. Antimon und 5 Th. Kupfer oder aus 80 Th. Zink, $14\frac{1}{2}$ Th. Zinn und $5\frac{1}{2}$ Th. Kupfer zusammengesetzt. Nach neueren Bestimmungen von Kirchweger und Prüfsmann werden 27 Theile einer Metallcomposition aus 59 Th. Zinn, 13 Th. Kupfer und $9\frac{1}{2}$ Th. Antimon mit $29\frac{1}{2}$ Theilen Zinn legiert.

Index *i* an der Platte *H* befestigt ist. Aufserdem können die ganzen Umdrehungen der Schraube an einer mit der Platte *G* in Verbindung stehenden Eintheilung *g* bestimmt werden. Hierdurch kann zugleich die Visierlinie des Fernrohrs mit Leichtigkeit normal zur verticalen Umdrehungsachse eingestellt werden, wozu hier die vertical stehenden Stellschräubchen der Fadenkreuzplatte dienen.

K bezeichnet den Kopf eines Getriebes zur leichteren Bewegung des Ocularauszuges.

Anmerkung. 1. Der langen verticalen Umdrehungsachse des Instruments und der Möglichkeit wegen, dieselbe gegen die Visierline des Fernrohrs normal zu stellen, kann das Niveau auch zum Nivellieren der Ebenen dienen, also auch den Instrumenten unter *A* beigezählt werden.

2. Zu gleichem Zwecke wurde von J. Amsler-Laffon in Schaffhausen ein Niveau construiert, dessen Libelle ebenfalls so ausgeschliffen ist, dafs die Blase bei jeder Drehung der Libelle beständig in der Mitte der Röhre einspielt, sobald ihre geometrische Achse horizontal ist. Auch das Fernrohr, an welchem die Libelle befestigt ist, läfst sich mittelst zweier Anschläge und Anschlagzapfen um 180° drehen und mittelst einer Elevationsschraube die Luftblase zum Einspielen bringen. Eine geometrische Darstellung und Beschreibung dieses Apparats findet sich im 153. Bande von Dingler's polytechnischem Journal. S. 401 u. f.

§. 355.

4. Das Libellenniveau zu kleinen Nivellements.

Diefs Niveau ist nur auf kleine und zugleich untergeordnete Nivellements, z. B. auf solche, die bei Ent- und Bewäfserungsanlagen, Drainirungen u. s. w. erfordert werden, berechnet und soll das für solche Arbeiten meistens angewandte Diopterniveau vertreten, vor welchem es wegen des, wenn auch nichtachromatischen Fernrohrs entschieden einen Vorzug haben dürfte. Es ist dafselbe in Fig. 173. a. in halber natürlicher Gröfse dargestellt und durch die Officin von Frerk und Sohn eingeführt.

Die Trägerplatte *A B* mit den beiden Trägern *C*, innerhalb welcher, zwischen Schraubenspitzen *c*, das Fernrohr *D E* liegt, enthält an dem einen Ende eine starke Druckfeder *a*, an dem anderen die Elevationsschraube *F*, deren konische Spitze in der Unterfläche des Fernrohrs, in Verbindung mit der Wirkung der Feder ihren Stützpunkt hat. Auf dem Fernrohr ist die Libelle *G* mit der Correctionsschraube *g* befestigt. Durch den vortretenden Schraubenkopf *d* und einen Einschnitt der Fernrohrfafsung kann das Ocular des Fernrohrs eingestellt werden.

Mit der Trägerplatte ist durch Schrauben eine Scheibe *h* mit der Büchse *H* verbunden, durch welche der Apparat auf den auf dem Metallkopfe des Stativs befestigten Zapfen gestellt und mittelst der Druckschraube *J* befestigt werden kann.

Fig. 173. a.



Die Berichtigung der Libellenniveau's zum Nivellieren der Linien.

§. 356.

1. **Die Bestimmung des Ausschlags der Libelle** ist nach §. 342. auszuführen.

2. **Für die Horizontalstellung des Horizontalfadens im Fadenkreuz** gelten auch die im §. 343. gegebenen Vorschriften. Bei dem Niveau der Fig. 170. werden wieder die an dem Deckel der Objectivröhre befindlichen Stellschrauben benutzt; bei dem Sisson'schen Niveau der Fig. 171. wird die Ocularröhre in dem Objectivrohr verschoben und durch die seitlichen Zugschrauben wieder befestigt, und bei dem Apparat der Fig. 172. gestattet die Ocularröhre durch das an ihrem einen Ende eingeschnittene Schraubengewinde eine Verstellung.

3. **Die Centrierung des Fernrohrs** wird nach den im §. 344. gegebenen Vorschriften ausgeführt. Bei dem Niveau der Fig. 170. ist dann die Verbefserung nach §. 344. 3., bei dem Apparat der Fig. 171. dagegen an den Stellschräubchen des Fadenkreuzes auszuführen. Bei den Niveau's der Figg. 172. und 173. a. ist selbstverständlich von dieser Verbefserung keine Rede.

4. Untersuchung der parallelen Lage der Libellenachse mit der Visierlinie des Fernrohrs.

§. 357.

Diese Untersuchung wird verschieden sein müfsen nach der verschiedenen Construction des Niveau's.

1. Wird das Ertelsche Niveau der Fig. 170. zuvörderst durch die drei dem Stative angehörigen Stellschrauben nahezu horizontal und die Luftblase der Libelle durch die Elevationsschraube Q eingestellt, so wird man durch Umsetzen der Libelle deren Richtigkeit erfahren; wird also die etwa gefundene Abweichung zur Hälfte an der Elevationsschraube und zur anderen Hälfte an der Correctionsschraube der Libelle verbefsert, aufserdem auch noch an der Libelle die im §. 30. 4. erwähnte Untersuchung und Berichtigung vorgenommen, so folgt, wie auch im §. 30. 3. erwähnt wurde, dafs die Achse der Libelle ihrer Unterlage, d. h. der durch die Metallringe gelegten horizontalen Berührungsebene parallel ist. Ist also das Fernrohr nach dem vorigen Paragraphen vollständig centriert, so wird auch die Libellenachse der Visierlinie des Fernrohrs parallel sein. Legt man also jetzt das Fernrohr mit der darauf stehenden Libelle um, so wird eine in dem Stande der Luftblase sich zeigende Abweichung eine Verschiedenheit der Ringdurchmefser nachweisen. Da aber, wie schon im §. 347. 1. erwähnt wurde, beim Nivellieren selbst diese Verschiedenheit gewöhnlich nicht eliminiert wird, so ist wieder anzurathen, dem Fernrohr beim Nivellieren stets eine bei der Untersuchung des Centrierens gleiche Lage zu geben.

Bei dem Breithauptschen Compensations-Niveau ist zunächst zu untersuchen, ob die Achse der Libellenröhre zur Umdrehungsachse der Libellenhülse parallel ist. Bringt man die Luftblase mittelst der Mikrometerschraube J (Fig. 173.) zum Einspielen und legt die Libellenhülse in ihrem Lager zwischen den Schraubenspitzen um, was zuerst durch Lösung und darauf wieder durch Anziehung der Schrauben e_2 und e_1 leicht erreicht wird, so mufs bei unveränderter Lage des Fernrohrs die Blase wieder einspielen. Bei einem erfolgten Ausschlage wird die Hälfte an der Schraube J, die andere an den, an den Verstärkungsringen befindlichen Correctionsschrauben verbefsert. Dreht man nun die Libelle um 180°, so dafs sie von der einen Seite des Fernrohrs auf die entgegengesetzte Seite kommt, so mufs die Luftblase, wenn sie bei der ersten Lage unter der Scale sich befand, wieder zwischen den Stegen der Fafsung einspielen. Ein etwaiger Fehler wird zur einen Hälfte wieder durch die Mikrometerschraube J, zur anderen an einer Schraube verbefsert, welche sich an dem ringförmigen Bande F des einen Libellenlagers befindet und in Fig. 173. nicht sichtbar ist. Der Kopf dieser Schraube sitzt nämlich excentrisch auf ihrem Gewindezapfen, greift in einen kreisförmigen Ausschnitt des Bandes ein und schiebt, da die an dem Bande befindlichen Zugschrauben in länglichten Schlitzen des Bandes stehen, durch seine

Drehung das Libellenlager auf oder ab. Durch eine Wiederholung dieser Prüfung und Berichtigung wird schliefslich die Umdrehungsachse der Libelle zu der durch die Visierlinie des Fernrohrs gehenden Horizontalebene parallel sein, vorausgesetzt, dafs der Parallelismus der Libellenachse zu der durch die Visierlinie gehenden Verticalebene nicht gestört ist.

2. Ist die Libelle auf dem Fernrohr mittelst zweier Sättel befestigt, letzteres aber in seinen Lagern umlegbar, wie bei dem in Fig. 171. dargestellten Niveau, so ist wieder zunächst das Fernrohr sorgfältig zu centrieren. Bringt man darauf die Luftblase der Libelle mittelst der Elevationsschraube J zum Einspielen, hebt das Fernrohr aus seinen Lagern und legt es umgekehrt wieder ein, so mufs wieder die Luftblase einspielen, wenn die Libellenachse mit der Visierlinie des Fernrohrs parallel sein soll. Eine sich zeigende Abweichung ist dann wieder zur Hälfte an der genannten Elevationsschraube, zur anderen Hälfte an der Correctionsvorrichtung l_1 der Libelle zu verbefsern und auch diefs Verfahren so lange zu wiederholen, bis die Stellung der Luftblase ungeändert bleibt.

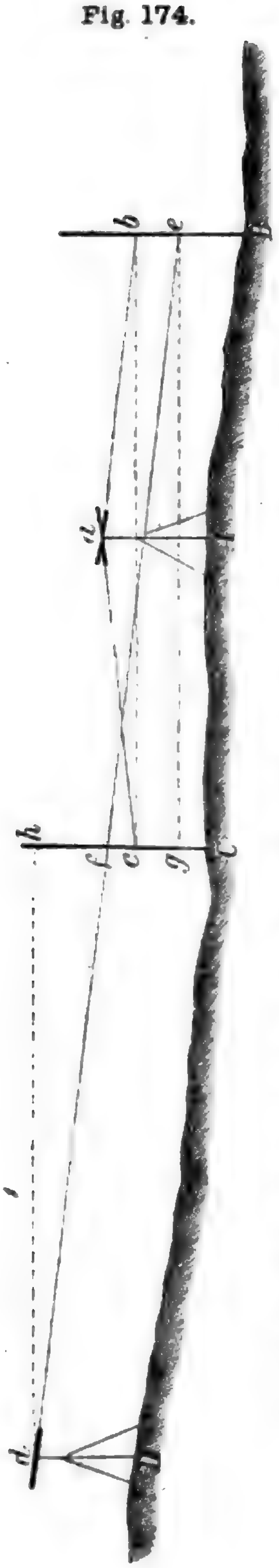
§. 358.

3. Läfst sich aber das Fernrohr in seinen Lagern nicht umlegen, wie der in Fig. 172. dargestellte Nivellierapparat, so stelle man wieder wie im §. 345., zwei Hülfsfernröhre in horizontaler Lage so auf, dafs ihre Visierlinien eine Gerade bilden und bringe das zu untersuchende Niveau so zwischen beide, dafs, wie bei dem erwähnten Apparat, das Fernrohr in die Richtung der einen Elevationsschraube N und zugleich in die Richtung der Hülfsfernröhre kommt. Dann stelle man mittelst der erwähnten Elevationsschraube die zugehörige verticale Drehungachse gegen die Gerade der Hülfsfernröhre normal, indem man das Fadenkreuz des Niveaufernrohrs auf das Fadenkreuz des einen Hülfsfernrohrs richtet, dann das erstere um 180° dreht und den bei der Nichtcoincidenz des Fadenkreuzes des anderen Hülfsfernrohrs mit dem des Niveau's sich zeigenden Fehler zur Hälfte an der Elevationsschraube verbefsert und diefs Verfahren bis zu einer genauen Coincidenz der Fäden wiederholt. Bringt man dann die Luftblase der Libelle mittelst ihrer Correctionsvorrichtung zum Einspielen, so wird auch die Libellenachse normal zur verticalen Drehungsachse, also parallel mit der Visierlinie des Fernrohrs sein.

4. Ohne Anwendung zweier Hülfsfernröhre, oder auch eines Hülfsfernrohrs und eines scharf markierten Objects Statt des zweiten, mefse man in einer Ebene eine Linie von etwa 30 bis 40 Ruthen Länge ab, nehme dieselbe aber zugleich so an, dafs sie über ihren einen Endpunkt hinaus um eben so viel verlängert werden kann.

Man stelle sich nun in der Mitte A (Fig. 174.) der Linie BC mit dem Nivellierinstrumente auf, von welchem angenommen werden mag, dafs die Libellenachse nicht parallel der Visierlinie des Fernrohrs ist und bestimme die Höhe

Fig. 174.



der Visierlinie auf den in B und C errichteten Latten, nämlich Bb und Cc, nachdem man vor jedem Einstellen die Luftblase der Libelle zum Einspielen gebracht hat. Da nun $AB = AC$ und daher auch $ac = ab$ ist, so wird cb eine Horizontallinie bezeichnen.

Nun stelle man sich in dem Endpunkte D der über C hinaus verlängerten und CB gleich gemachten Linie CD auf, stelle die Luftblase der Libelle ein und bestimme auf den Latten in C und B wieder die Zielhöhen Be und Cf der Visierlinie des Fernrohrs, welche offenbar parallel ab sein mufs. Bestimmt man nun auf der in C stehenden Latte den Punkt g so, dafs $cg = be = Bb - Be$ ist, so wird auch ge eine Horizontale darstellen und wenn darauf wieder der Punkt h so bestimmt wird, dafs $fg = fh$ ist, so wird auch die Visierlinie des nach h gerichteten Fernrohrs horizontal, also die Libelle durch die Correctionsschrauben nur noch soweit zu berichtigen sein, dafs in der erwähnten Lage des Fernrohrs die Luftblase einspielt. Dürfte nun vorausgesetzt werden, dafs die erwähnten Einstellungen des Fernrohrs und die bestimmten Zielhöhen völlig fehlerfrei wären, so würde nach der erfolgten Correction der Libelle auch ihre Achse der Visierlinie des Fernrohrs parallel sein müfsen. Diefs darf aber wegen der unvermeidlichen Fehler nicht vorausgesetzt und es kann daher der im Nivellierinstrumente vorhandene Fehler nicht als vollständig verbefsert angenommen werden. Indessen möchte das angegebene Verfahren bei Nivellierinstrumenten, von denen man nicht die gröfste Genauigkeit beim Nivellieren erwartet, ausreichend erscheinen. Zugleich ergiebt sich hieraus, wie nothwendig es ist, das Fernrohr der Nivellierwerkzeuge, die nur zum Nivellieren der Linien dienen, zum Umlegen einrichten zu lafsen.

Gebrauch der unter *A* und *B* beschriebenen Libellenniveau's zum Nivellieren.

§. 359.

1. Bezeichnen A und B in Fig. 175. zwei Punkte auf der Oberfläche der Erde, C deren Mittelpunkt und beschreibt man aus C mit CA einen Kreisbogen, welcher die Verlängerung von CB in D schneidet, so wird der Unterschied zwischen CA und CB, nämlich

Fig. 175.



BD das Gefälle von A bis B genannt. Ist A weiter von C entfernt, als B, so sagt man, das Terrain von A bis B hat wirkliches Gefälle oder hat Fallen; ist aber $CB > CA$, so wird das Gefälle negativ genannt und man sagt, das Terrain von A bis B hat Steigen.

Da aber mittelst der Nivellierwerkzeuge nicht der wahre Horizont AD, sondern der scheinbare AH (§. 332.) durch die horizontale Visierlinie des Fernrohrs hergestellt und an der in B errichteten Nivellierlatte bestimmt wird, so wird BD sich bestimmen lafsen, wenn man aufser der abzulesenden Zielhöhe BF, noch FD kennt. Man nennt diesen, beim Nivellieren immer im landesüblichen Mafse dargestellten, Zahlenwerth die Erhöhung des scheinbaren Horizonts über dem wahren. Bei Höhenwinkeln, welche in A gemefsen werden, mufs daher der gemefsene Höhenwinkel, um die wahre Höhe zu bestimmen, immer um den Winkel HAD d. h. um $\frac{1}{2}C$ vermehrt werden.

Dieser Correctionswerth wird dann auch wohl die Correction wegen der Krümmung der Erde genannt.

Bezeichnet man den Erdhalbmefser durch r, den zu bestimmenden Zahlenwerth für FD durch h und die Entfernung AB, wofür ohne Fehler auch AF genommen werden kann, durch d, so ist in dem Dreieck AFC

$$r + h = \sqrt{r^2 + d^2} = r\sqrt{1 + \frac{d^2}{r^2}} = r\left(1 + \frac{1}{2}\frac{d^2}{r^2} - \frac{1}{8}\frac{d^4}{r^4} + \ldots\right)$$

oder $$h = \frac{d^2}{2r} - \frac{d^4}{8r^3} + \ldots$$

wofür aber immer als Correctionswerth beim Nivellieren

$$h = \frac{d^2}{2r}$$

als völlig ausreichend genommen werden kann.

2. Aber nur bei kürzeren Entfernungen erscheint in dem in A gedachten Fernrohre der Punkt F auf der Nivellierlatte wirklich in der horizontalen Visierlinie AH; bei längeren Entfernungen dagegen und bei dem gewöhnlichen Zustande der Atmosphäre wird wegen der Refraction ein in dem scheinbaren Horizonte gesehener Punkt F unter demselben, etwa in E liegen, weshalb noch der Werth für EF und hieraus dann der Gesammtcorrectionswerth für ED bei der Mefsung eines Gefälles zu bestimmen ist. Da nun nach §. 227. $EAF = 0{,}0653\,C$ und wegen der Kleinheit der bei A liegenden Winkel

$$FE : FD = 0{,}0653\,C : \tfrac{1}{2}\,C,$$

folglich $$FE = 0{,}1306\,\frac{d^2}{2r} \text{ ist,}$$

so ist die bei dem gefundenen Gefälle unter Berücksichtigung der Krümmung der Erde und der Refraction anzubringende Gesammtcorrection

$$c = \frac{d^2}{2r} - 0{,}1306\,\frac{d^2}{2r} = 0{,}4347\,\frac{d^2}{r},$$

welche daher, weil das steigende Terrain gemefsenen Elevationswinkeln, das fallende aber Depressionswinkeln entspricht, beim Steigen additiv, beim Fallen subtractiv zu nehmen ist.

Nimmt man den mittleren Halbmefser = 21795294 Hannoversche Fufs an, so erhält man folgende Tabelle über die Höhencorrection beim Nivellieren.

Länge der Station Ruthen.	Correction in Hannoverschen Linien	
	für 1 Ruthe = 2304''' *)	für 1 Ruthe — 1600''' **)
10	0,074	0,051
20	0,294	0,204
30	0,662	0,46
40	1,176	0,817
50	1,838	1,276
60	2,647	1,838
70	3,603	2,502
80	4,706	3,268
90	5,955	4,136
100	7,352	5,106

Ist der auszumittelnde Höhenunterschied zweier Punkte und zugleich ihre Entfernung von einander so gering, daſs er sich schon durch die horizontale Visierlinie einer einzigen Station bestimmen läſst, so nennt man das Nivellement ein einfaches; werden aber dazu aus dem einen oder anderen Grunde mehrere Stationen erfordert, so nennt man es ein zusammengesetztes. Letzteres ist nur ein wiederholtes Verfahren des ersteren.

In der Ausführung des Nivellierens unterscheidet man zwei Methoden: das Nivellieren aus den Endpunkten (das Vorwärts-Nivellieren) und das Nivellieren aus der Mitte.

1. Das Nivellieren aus den Endpunkten.

§. 360.

Es werde hierbei ein zusammengesetztes Nivellement vorausgesetzt. Man zerlege die gegebene Nivellementslinie so viel als möglich in Stationen von gleicher Länge, die aber wieder nach der verschiedenen Beschaffenheit und Güte des Niveau's eine verschiedene sein wird und bezeichne die Endpunkte der Stationen, wenn sie sonst nicht anderweit schon bezeichnet sind, durch in den Erdboden getriebene Pfähle mit abgeebneten Köpfen von etwa 4 Quadratzoll Fläche.

Wenngleich das Niveau als vollständig berichtigt angesehen werden muſs, so ist doch vorzugsweise bei dem Fernrohr das Zusammenfallen des Bildes der Latte mit der Ebene des Fadenkreuzes und bei letzterem die genaue Horizontalität des Horizontalfadens nochmals zu untersuchen und erforderlichen Falls

*) Für eine Nivellierlatte, auf welcher der Werkfuſs, deren 16 eine Ruthe bilden, in 12 Zoll und jeder Zoll in 12 Linien getheilt ist.

**) Für eine Latte, auf welcher der Fuſs in Zehntel- und Hundertstel-Fuſs getheilt ist.

herzustellen. Um die Höhe des Niveau's über den Standpunkten mit möglichster Genauigkeit meſsen zu können, muſs man dem Stativ desselben eine solche Stellung geben, daſs nach vorläufiger richtiger Einstellung des Fadenkreuzes des Fernrohrs auf die in dem anderen Endpunkte errichtete Nivellierlatte, die Vorderfläche des Oculars lothrecht über der Oberfläche des Pfahls liegt. Um ferner auch nach erfolgter Aufstellung des Niveau's und Einstellung eines Fernrohrs, noch kleine Verbeſserungen in der Stellung der Luftblase der Libelle mit Leichtigkeit und Sicherheit ausführen zu können, muſs man bei den unter *A* (§§. 335. u. f.) beschriebenen Instrumenten, der Horizontalstellungsvorrichtung auf dem Stativ eine solche Lage geben, daſs die eine Stellschraube derselben, bei dem in Fig. 172. dargestellten Apparat aber die eine Elevationsschraube genau in der Richtung der Stationslinie liegt.

Nach diesen Berücksichtigungen stellt man nun bei den Niveau's der Abtheilung *A* den Verticalzapfen durch die Stellschrauben der Horizontalstellungsvorrichtung genau, bei den Niveau's der Abtheilung *B* die Verticalachse, um welche sich der bewegliche Theil dreht, annähernd ein und bringt, nachdem nun das Fernrohr auf die in dem anderen Endpunkte senkrecht aufgestellte Latte gerichtet ist, mit der einen Stellschraube in dem ersten Falle, mit der Elevationsschraube in dem anderen, die Luftblase der Libelle zum Einspielen. Dann läſst man bei den Latten mit Scheiben, letztere nach der Visierlinie des Fernrohrs von dem Gehülfen einstellen und von ihm ablesen; bei den Latten ohne Scheiben aber wird die Höhe unmittelbar abgelesen. Wie schon im §. 340. erwähnt ist, kann man bei der ersten Art der Nivellierlatten die Scheibe nach jeder Einstellung und Ablesung etwas verschieben und aufs Neue einstellen und ablesen laſsen, um dann von den verschiedenen Resultaten, falls diese nur den unvermeidlichen Beobachtungsfehlern zugeschrieben werden können, das arithmetische Mittel z_1 zu nehmen. Miſst man nun noch die Instrumenthöhe i_1 bis zur Mitte des Ocularglases, so ist, wenn man durch $1\,G\,2$ das Gefälle von dem Punkte 1 (als Anfangspunkte) bis zum Punkte 2 bezeichnet, und c_1 den nach der Tabelle im §. 359. bestimmten additiven oder subtractiven Werth darstellt, je nachdem der Endpunkt 2 beziehungsweise höher oder tiefer als der Anfangspunkt 1 liegt, oder je nachdem $z_1 \lessgtr i_1$ ist, d. h. $z_1 - i_1$ einen negativen oder positiven Werth giebt,

$$1\,G\,2 = z_1 - i_1 + c_1.$$

Denn in Fig. 176. I. und II. ist ohne Berücksichtigung der Correction

$$1\,G\,2 = 2\,h = 2\,a - a\,h = z_1 - i_1$$

und

$$1\,G\,2 = 2\,h = a\,h - 2\,a = -(z_1 - i_1).$$

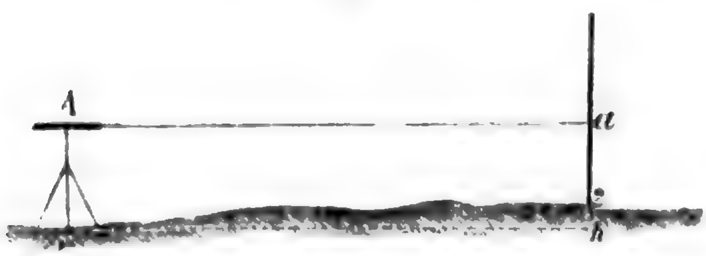
Auf dieselbe Weise erhält man nun:

$$2\,G\,3 = z_2 - i_2 + c_2.$$
$$3\,G\,4 = z_3 - i_3 + c_3.$$
$$\cdots\cdots\cdots$$

Fig. 176. I.



II.



Es ist also allgemein:

$$1Gn = (z_1 + z_2 + z_3 + \dots) - (i_1 + i_2 + \dots) + (c_1 + c_2 + \dots),$$

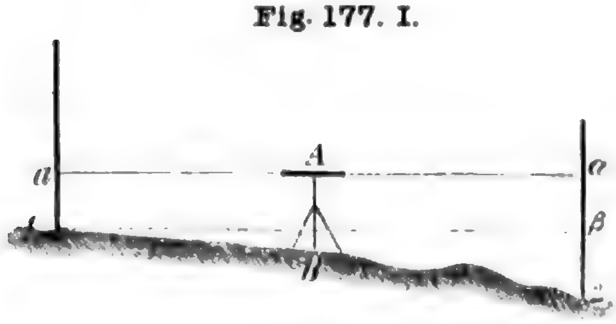
d. h. man findet das Gefälle zwischen zwei beliebigen Punkten, wenn man von der Summe der Latten- oder Zielhöhen die Summe der Instrumenthöhen subtrahiert und mit dem Reste die Summe der Correctionen als additiven oder subtractiven Werth verbindet.

2. Das Nivellieren aus der Mitte.

§. 361.

Auch bei dieser Methode des Nivellierens wird die gegebene Nivellementslinie, so weit es die Beschaffenheit des Terrains gestattet, in Stationen von gleicher Länge, der Güte des Niveau's entsprechend, zerlegt; eben so werden die Endpunkte derselben ebenfalls durch Pfähle bezeichnet. Selbstverständlich geht auch die richtige Einstellung der Ocularblendung und die des Fernrohrs auf die Latte u. s. w. dem Nivellieren voran.

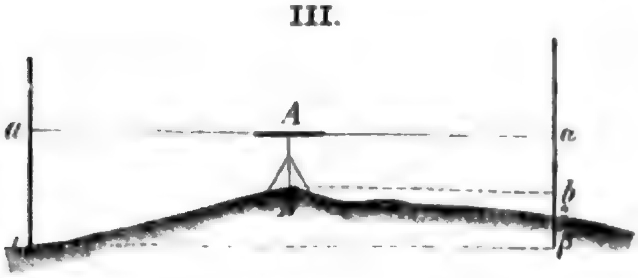
Fig. 177. I.



II.



III.



Ist nun die erste der zu nivellierenden Stationen die in Fig. 177 I. II. und III. bezeichnete Station 1 2, so stelle man sich mit dem Niveau in der Mitte *B* derselben auf und bestimme wie im vorigen Paragraphen die Zielhöhe auf den in 1 und 2 errichteten Nivellierlatten $1.a = z_1^r$ und $2.\alpha = z_1^v$, so ist das Gefälle zwischen 1 und 2

$$1G2 = z_1^v - z_1^r$$

und zwar positiv oder negativ, je

nachdem $z^v_1 \gtrless z^r_1$ ist. Denn denkt man sich in Fig. 177. I. durch 1 die Horizontale 1 β gezogen, so ist $1 G 2 = \beta . 2 = 2 . a - 1 . a$.

Liegen, wie in II. beide Endpunkte der Station höher, als der Stationspunkt B, so ist $1 G 2 = 2 . \beta = 2 . a - 1 . a$.

Dasselbe zeigt sich in III., wenn 1 und 2 tiefer als B liegen.

Bestimmt man nun auf dieselbe Weise das Gefälle der zweiten und jeder folgenden Station, so erhält man:

$$2 G 3 = z^v_2 - z^r_2$$

$$3 G 4 = z^v_3 - z^r_3$$

. . . .

und daher allgemein

$$1 G n = (z^v_1 + z^v_2 + z^v_3 + \ldots) - (z^r_1 + z^r_2 + z^r_3 + \ldots)$$

d. h. man erhält das Gefälle zwischen zwei beliebigen Punkten, wenn man von der Summe der vorderen Zielhöhen die Summe der rückwärts genommenen subtrahiert.

§. 362.

Die Methode des Nivellierens aus der Mitte bietet in mehrfacher Hinsicht Vortheile gegen das Nivellieren aus den Endpunkten dar.

1. Hängt die Bestimmung des Gefälles nicht von der Mefsung der Instrumenthöhe ab, welche, wenn nicht die im §. 360. erwähnte Vorsichtsmafsregel bei der Aufstellung des Niveau's befolgt wird, oft nur annähernd richtig auszuführen ist.

2. Wird ein noch vorhandener Fehler in dem geforderten Parallelismus der Libellenachse mit der Visierlinie des Fernrohrs, da die Visierlinien nach den Endpunkten 1 und 2 gleich sind, sich aufheben; in Bezug auf den erwähnten Fehler kann man daher mit einem nicht fehlerfreien Niveau eben so richtig nivellieren, als mit einem fehlerfreien.

3. Bedarf man der im §. 359. erwähnten Correction nicht. Denn liegt, wie in Fig. 177. I. der eine Endpunkt der Station höher, der andere tiefer, als der Standpunkt, so ist die Correction für den ersteren additiv, für den anderen subtractiv. Da nun, wenn man sich durch B die Horizontale Bb gezogen denkt und die Specialgefälle zwischen dem Standpunkte B und den Endpunkten 1 und 2 beziehungsweise durch g_1 und g_2 bezeichnet, so ist

$$1 G 2 = g_1 + c + g_2 - c = g_1 + g_2 = \beta b + b 2 = 2 a - 1 a$$

wie im vorigen Paragraphen. Liegen aber auch beide Endpunkte der Station höher, wie in Fig. 177. II. oder tiefer, wie in Fig. 177. III., so ist zwar im ersten Falle der Correctionswerth c für beide Visierlinien additiv, im zweiten subtractiv, allein wenn man wieder durch B sich die Horizontale Bb gezogen denkt, so

setzt sich das Gefälle $1\,G\,2$ aus der Differenz der Specialgefälle g_1 und g_2 zusammen, und daher wieder $(\pm c) - (\pm c) = 0$.

4. Darf auch nicht unerwähnt bleiben, dafs man bei einmaligem Aufstellen des Niveau's doppelt so lange Stationen nehmen kann, dabei auch, bei den unter *A* (§. 335. u. f.) beschriebenen Apparaten wenigstens, nur ein einmaliges Einstellen der Luftblase der Libelle erfordert wird und dafs von dem etwaigen Visierfehler, wegen des Visierens nach entgegengesetzen Richtungen, ein Aufheben desselben angenommen werden darf.

Man wird deshalb aus diesen Gründen die Methode des Nivellierens aus der Mitte der Stationen überall anwenden, wo es zuläfsig ist. Dabei ist auch noch zu beachten, dafs es nicht erforderlich ist, sich genau in der Stationslinie aufzustellen, sondern dafs es hinreicht, wenn der Standpunkt in einer Normalen liegt, welche in der Mitte der Station nach der einen oder anderen Seite derselben errichtet ist.

§. 363.

Es kann hier nur die Absicht sein, den Gebrauch der Nivellierwerkzeuge bei Nivellements im Allgemeinen zu erklären, nicht aber auf die Einzelheiten einzugehen, die bei den bei Eisenbahn- und Strafsenanlagen, Flufsregulierungen, beim Nivellieren gröfserer Flächen nach Länge und Breite u. s. w. vorkommenden Nivellements in Betracht gezogen werden müfsen. Indessen mufs doch noch bemerkt werden, dafs fast bei allen Nivellements, aufser der Bestimmung der Höhenunterschiede der in einer stetig fortlaufenden Linie liegenden Punkte — dem Längennivellement — auch noch die Kenntnifs der Lage der Punkte des seitwärtsliegenden Terrains verlangt wird. Man legt zu diesem Zwecke in bestimmten Entfernungen der Längennivellementsachse, welche durch die Verschiedenheit des Terrains sich bestimmen, Normalen gegen dieselbe und bestimmt die Lage der in ihnen liegenden Punkte durch ein Quernivellement. Wenn man auch immer nach dem vorigen Paragraphen bestrebt sein wird, auf das Längennivellement die Methode des Nivellierens aus der Mitte anzuwenden, wird man dagegen bei den Quernivellements meistens nur auf die Methode des Nivellierens aus den Endpunkten und hierbei auch wieder häufig nur auf einen Standpunkt angewiesen sein, der aufserhalb der Längen- und Querachse liegt, um wo möglich von ihm aus die Höhenunterschiede aller in der Querachse liegenden Punkte bestimmen zu können. Ein solcher seitlich gelegener Punkt ist aber dann immer auf die Lage eines in der Längenachse bereits nivellierten Punkts durch ein Nivellement aus beiden Endpunkten der Linie zu beziehen. Bei solchen Nivellements bieten aber die unter *A* (§ 335. u. f.) beschriebenen Apparate besondere Vortheile dar.

C. *Die Libellenniveau's mit constanten Zielhöhen.*

§. 364.

1. Das Stampfer-Starke'sche Niveau.

Man denke sich das Fernrohr eines Libellenniveau's um den Punkt C (Fig. 178.) in einer Verticalebene drehbar und dessen, nur auf wenige Grade sich beziehende Winkelbewegung durch Hülfe der Eintheilung der Trommel einer Mikrometerschraube gemefsen und mittelst der Libelle auch horizontal gestellt werden kann, in dem einen Endpunkte A einer mit gröfster Genauigkeit gemefsenen Linie $A\,B_1$ und in dem anderen eine Nivellierlatte aufgestellt, an welcher sich zwei in einem bestimmten Abstande d befestigte Scheiben (s. Fig. 167.) befinden.

Fig. 178.



Es seien ferner m Umdrehungen der Mikrometerschraube erforderlich, wenn das Fadenkreuz des Fernrohrs von der oberen Scheibe O_1 bis zur unteren U_1 bewegt wird, so wird, wenn man den Horizontalabstand $A\,B_1 = a$ setzt, der dazu gehörige Winkel $O_1\,C\,U_1$ durch

$$\frac{d}{a}\,206265 \text{ Sekunden}$$

dargestellt, und es beträgt daher eine Umdrehung der Trommel $= n = \frac{d}{a\,.\,m}\,206265$ Sekunden. Zur Ablesung dieser einzelnen Umdrehungen ist an einem unbeweglichen Theile des Niveau's eine Scale, deren Theile der Gröfse einer Umdrehung entsprechen, angebracht, an einem beweglichen Theile aber ihr Index, oder umgekehrt.

Die Nivellierlatte befinde sich nun in einem anderen Abstande von A, in B. Stellt man mittelst der Mikrometerschraube das Fernrohr horizontal und giebt hierfür die Ablesung an der Scale und den Theilen der Trommel $= h$, beim Einstellen des Fernrohrs auf die beiden Scheiben beziehungsweise o und u, so darf man annehmen, dafs

der Winkel $H\,C\,U$ durch $h - u$

und der Winkel $O\,C\,U$ durch $o - u$

dargestellt ist, mithin, da die durch die Mikrometerschraube gemefsenen Winkel, wegen ihrer Kleinheit, den

an der Nivellierlatte sich bildenden Gegenseiten proportional gesetzt werden können,

$$HU : OU = h - u : o - u.$$

Da nun $OU = d$ gesetzt war, so erhält man

$$HU = d \cdot \frac{h-u}{o-u},$$

woraus demnach, wenn der Abstand der unteren Scheibe vom unteren Ende der Latte bekannt ist, der Abstand der horizontalen Visierlinie vom Punkte B sich ergiebt.

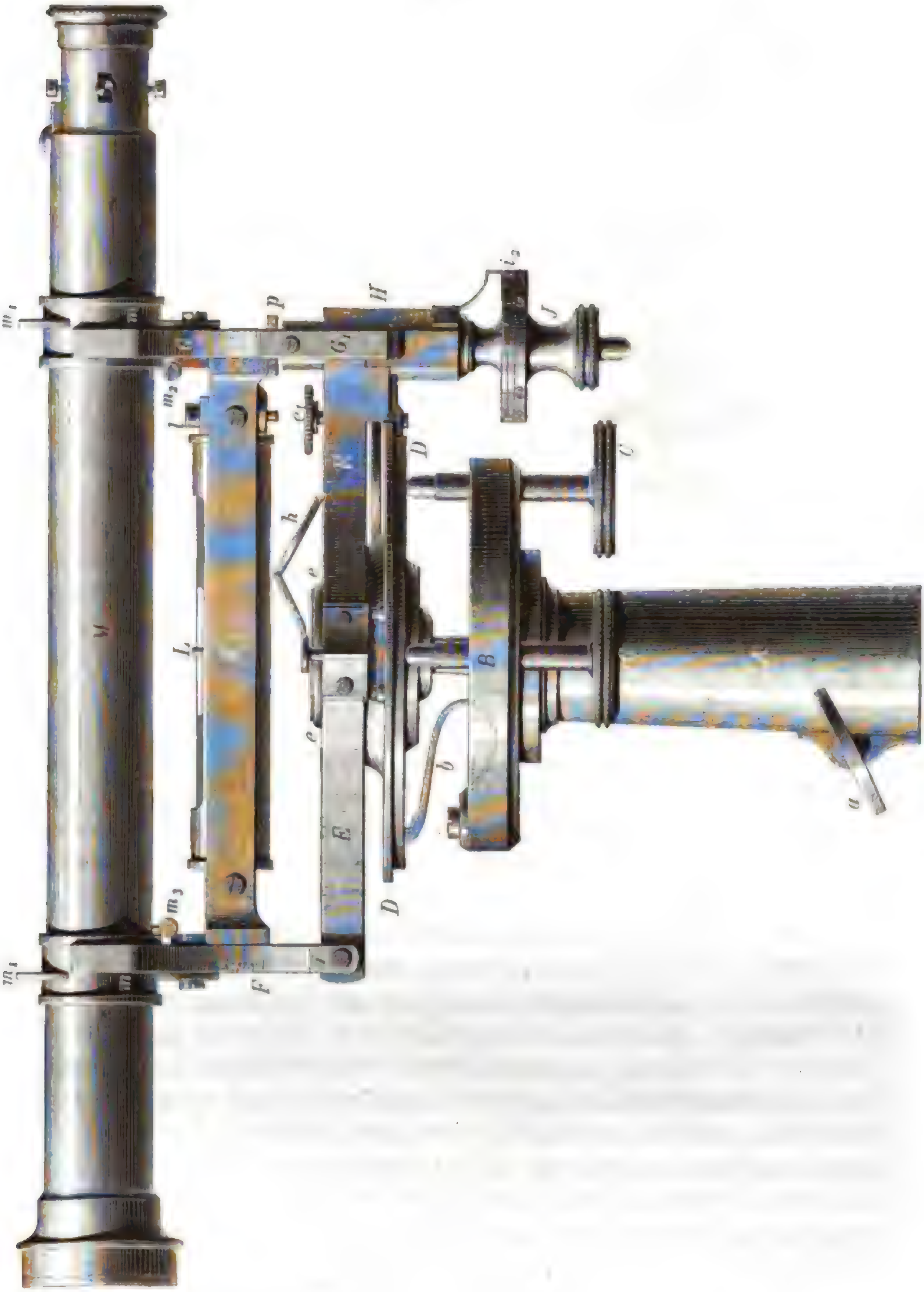
Anmerkung. Die hier in Rede stehende Methode zu nivellieren hat zuerst Hogreve angewandt. M. s. dessen praktische Anweisung zum Nivellieren oder Wafserwägen. Hannover, 1800.

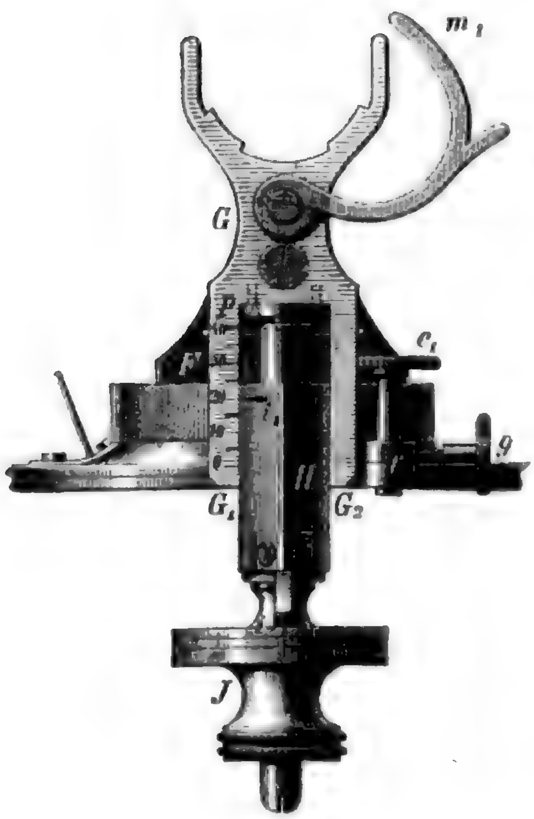
§. 365.

Nach den im vorigen Paragraphen angegebenen Principien ist das in Fig. 179. in halber natürlicher Gröfse dargestellte Nivellierinstrument in der mechanischen Werkstätte des polytechnischen Instituts zu Wien verfertigt. Eine vollständige Anweisung desselben als Niveau, Distanz- und Höhenmefser findet sich in Stampfer's Anleitung zum Gebrauch der verbefserten Nivellierinstrumente, welche in der Werkstätte des polytechnischen Instituts in Wien verfertigt werden. Wien, 1839.

Die Unterlage dieses Instruments bildet das in Fig. 52. im noch kleineren Mafsstabe dargestellte Zapfenstativ. Auf den Zapfen desselben wird die konische Hülse A des Instrumentes gesetzt und durch Anziehung der Klemmschraube a letzteres auf dem Stativ hinreichend befestigt. Die cylindrische Grundplatte B enthält die Muttern für die beiden Stellschrauben CC, denen diametral gegenüber die plattenförmigen Druckfedern b angebracht sind. Sowohl die freien Enden dieser Federn, als auch die abgerundeten Spitzen der Stellschrauben legen sich gegen die Unterfläche des Tellers DD, so dafs demnach dieser horizontal gestellt werden kann. Die ausgedrehte Oberfläche des Tellers enthält auf dem Rande den eingelegten Silberstreifen für die Eintheilung des Horizontalkreises, die bis auf Drittelgrade ausgeführt ist. Mittelst Schrauben ist mit dem Teller ein einen halben Zoll hoher konischer Zapfen verbunden, um welchen der obere bewegliche Theil des Niveau's sich im Horizonte drehen läfst. Ueber die genauere Einrichtung des erwähnten unteren festen Theils giebt Fig. 56. (§. 78.) näheren Aufschlufs. Auf den genannten Zapfen wird die Trägerplatte EE des Niveau's gesetzt und letztere mittelst der Kopfschraube ee und einer untergelegten Feder gegen den ersteren festgehalten. Mit der Trägerplatte bildet die Alhidade des Horizontalkreises ein Ganzes, an welcher der unmittelbar Minuten angebende Vernier so angebracht ist, dafs seine Ebene mit der Limbusebene beständig in einer Ebene liegt. Zur Hemmung der groben Horizontal-

Fig. 179.



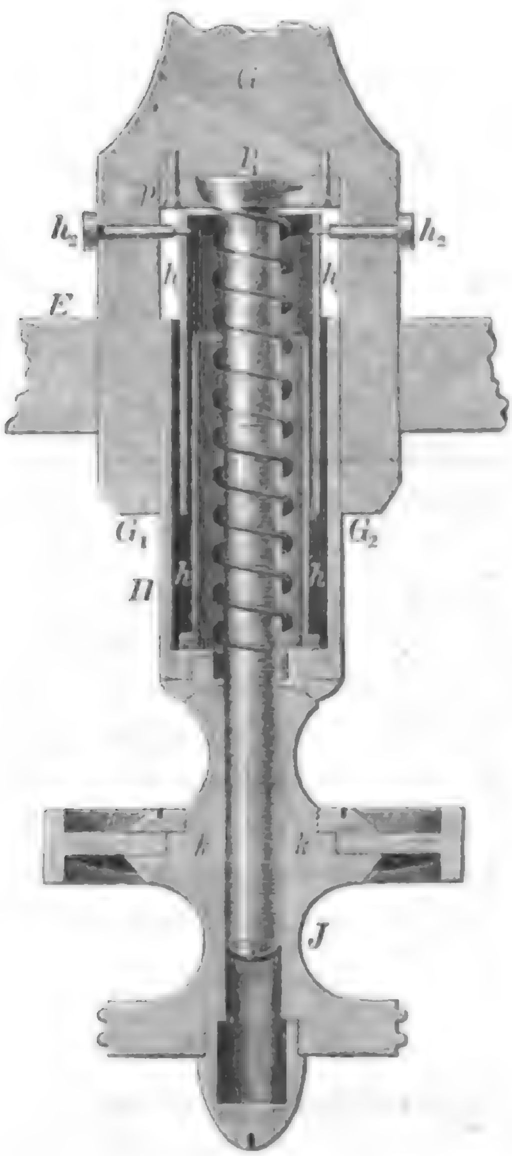


bewegung dient die Klemmschraube e_1 und zur feinen Einstellung ein mit der Halterplatte f versehenes Federmikrometer mit der Mikrometerschraube g. Ein in die Trägerplatte gesteckter Loupenhalter h mit Loupe gestattet die genaue Ablesung der Theilung.

An den Enden der Trägerplatte befinden sich die beiden Fernrohrträger. Der eine derselben, F, aus einem massiven Stück bestehend, ist zwischen zwei Schraubenspitzen i drehbar; der andere, G, theilt sich nach Unten in zwei Arme G_1 G_2, welche sich innig an das mit der Trägerplatte EE fest verbundene hohle sechsseitige Prisma H anlegen, in welchem sich die sorgfältig gleichmäfsig geschnittene Mikrometerschraube J befindet. An dem Träger F und an den beiden Armen des anderen G ist der Gehäusekasten K der mit einer Correctionsschraube versehenen Röhrenlibelle L befestigt, so dafs bei der Verticalbewegung des Trägers G, durch Umdrehung der Mikrometerschraube J, sowohl der Libelle, als auch dem in den Lagern beider Träger liegenden Fernrohre M eine eben solche ertheilt wird. Der eine Arm G_1 des Trägers G enthält die im vorigen Paragraphen erwähnte Theilung für die ganzen Umdrehungen der Mikrometerschraube; die Trommel derselben enthält 100 gleiche Theile und gestattet die Schätzung von Zehnteln derselben, so dafs demnach Tausendstel einer Umdrehung abzulesen sind. Die Indices i_1 i_2 für beide Theilungen enthält die Oberfläche des Prisma's H.

Die Verbindung der Mikrometerschraube mit dem Träger G geschieht durch die Platte p, indem in deren sphärische Ausbohrung das kugelsegmentförmig abgedrehte Ende p_1 der Schraube J passt, während die erwähnte Platte p durch vier Schrauben, von denen zwei in den Träger G, die beiden anderen in den Gehäusekasten K treten, an dem beweglichen Träger G befestigt ist. Der todte Gang der Mikrometerschraube wird durch eine sie umgebende Spiralfeder, deren freie Enden zwischen der Bodenfläche des hohlen Prisma's H und der Platte p liegen, beseitigt. In Fig. 180. ist die Mikrometerschraube, sammt den sie umgebenden Theilen, in natürlicher Gröfse dargestellt. Die Spiralfeder der Mikrometerschraube wird von einem hohlen Cylinder $h\,h$ umgeben, welchen wieder theilweise der hohle Cylinder h_1 h_1 umschliefst; letzterer hängt an 2 diametral gegenüberstehenden Schrauben h_2 h_2 in den Armen G_1 G_2 des Trägers G und

Fig. 180.



wird daher gegen den festen Theil H mit dem Träger bewegt. Die Mutter der Mikrometerschraube liegt in dem Umdrehungskörper $k\,k$, der sich mit seinem sphärisch abgedrehten Ende in einen Stahlring des Prisma's H legt. Durch die Umdrehung der Mikrometerschraube wird daher eine fortschiebende Bewegung in verticaler Richtung hervorgebracht, während ihre Mutter mit der Trommel eine Drehung beschreibt.

Das achromatische Fernrohr, welches das in Fig. 37. dargestellte terrestrische Ocular enthält, liegt mit seinen gleichen Metallringen $m\ m$ von Rothgufs in convex ausgeschliffenen Lagerflächen und wird durch überzuschiebende Bügel $m_1\ m_1$ gehalten. Jeder der Ringe trägt Unten an seinem Umfange eine kleine Stahlplatte m_3, die sich gegen eine stumpfe Spitze einer Schraube m_2 legt, welche in einem kleinen Ansatze an jedem der Träger verstellt werden kann, um den Horizontalfaden des Fadennetzes horizontal stellen zu können. Dadurch kann auch zugleich dem Fernrohr in seinen Lagern eine feste Lage ertheilt werden.

Anmerkung. Nach demselben Princip, aber theils in kleinerem Mafstabe, theils einfacher ausgeführte und daher auf kleinere Nivellements berechnete Nivellierinstrumente aus der oben erwähnten Officin sind unter anderen in Stampfer's Anleitung zum Nivellieren, Wien, 1845, und in Hartner's Handbuch der niederen Geodäsie, Wien, 1850, dargestellt.

Die Berichtigung des Stampfer-Starke'schen Niveau's.

§. 366.

1. Ueber die Untersuchung an der Röhrenlibelle ist §. 342. zu vergleichen.

2. Die Horizontalstellung des Horizontalfadens im Fadenkreuz wird nach §. 343. untersucht und nach dem vorigen Paragraph berichtigt.

3. Die Centrierung des Fernrohrs ist nach §. 344. 1. vorzunehmen.

4. Da bei dem in Rede stehenden Apparat die Libelle zwischen den Trägern des Fernrohrs angebracht ist, so ist zunächst zu untersuchen, ob die Achse der Libelle normal zur verticalen Umdrehungsachse steht. Man

bringt zu diesem Zwecke durch Drehung des beweglichen Theils des Apparats die Libelle in die Richtung der einen Stellschraube C und stellt die Luftblase durch letztere ein. Dreht man nun den oberen Theil des Apparats um 180° und verändert dabei die Luftblase ihren Stand, so kann die Gröfse der Abweichung durch die Mikrometerschraube gemefsen, diese alsdann um die Hälfte zurückgestellt und die Libelle nun mit der erwähnten Stellschraube wieder eingestellt werden. Eine Wiederholung des Verfahrens wird meistens schon den etwa noch zurückgebliebenen kleinen Fehler eliminieren. Dann bringt man die Libelle in die Richtung der anderen Stellschraube und wendet wieder das eben genannte Verfahren an.

5. Um nun noch die Visierlinie des Fernrohrs mit der Libellenachse parallel zu stellen, richtet man das Fernrohr auf eine etwa in 30 bis 40 Ruthen Entfernung errichtete Nivellierlatte, stellt die Libelle mit der Mikrometerschraube ein und liest sowohl den Stand der Mikrometerschraube, als auch die Zielhöhe ab. Darauf dreht man den beweglichen Theil des Niveau's um 180°, legt das Fernrohr in seinen Lagern um und stellt die Luftblase mittelst der Mikrometerschraube abermals ein. Ist dann der Durchschnitt des Fadenkreuzes auf einen anderen Punkt der Latte gerichtet, so wird die Abweichung gegen die erste Zielhöhe durch die Mikrometerschraube gemefsen, dann letztere auf die Hälfte zurückgestellt und die andere Hälfte durch die Correctionsschraube l der Libelle berichtigt. Auch diese Untersuchung ist so lange zu wiederholen, bis keine Abweichung mehr sich zeigt.

§. 367.

Der im vorigen Paragraphen unter 5. angegebenen Berichtigung liegt offenbar die Voraussetzung zum Grunde, dafs die Ringe $m\,m$ des Fernrohrs M gleiche Durchmefser haben. Nach Stampfer*) soll man zu dieser Untersuchung mit dem Niveau das Gefälle einer etwa 40 Ruthen langen Linie $A\,B$, durch Nivellieren aus beiden Endpunkten bestimmen.

Das Gefälle zwischen A nach B, wobei A tiefer als B liegend angenommen werden mag, ist daher, wenn durch x der in der Visierlinie vorhandene Fehler, durch den ungleichen Durchmefser der Ringe veranlafst, bezeichnet wird, nach der im §. 360. angenommenen Bezeichnung

$$_AG_B = i - z + c + x;$$

$$_BG_A = z_1 - i_1 - c - x$$

und daher

$$x = \tfrac{1}{2}[(i - i_1) - (z - z_1)].$$

Könnte nun angenommen werden, dafs beim Nivellieren selbst kein Fehler begangen würde, so würden die erwähnten Ringdurchmefser gleich sein, wenn

*) a. a. O. S. 18.

$x = 0$ sich zeigte. Da aber diese Voraussetzung wenigstens nicht immer zulässig ist, so leistet selbst das Resultat $x = 0$ noch keine vollkommene Gewähr für die Richtigkeit der Behauptung. Es ist deshalb auch wohl gerathener, nachdem die Centrierung des Fernrohrs sorgfältig ausgeführt ist, zuerst durch zwei angenommene Hülfsfernröhre die verticale Stellung des Verticalzapfens gegen die Visierlinie des Fernrohrs durch Anwendung der Mikrometerschraube genau herzustellen, darauf dann das Fernrohr umzulegen, wodurch die Gleichheit oder Ungleichheit der Ringdurchmefser sich ergiebt, endlich die parallele Lage der Libellenachse zur Visierlinie durch Umdrehung des beweglichen Theils des Niveau's um 180⁰ zu prüfen und den etwa gefundenen Fehler zur Hälfte an der Correctionsschraube der Libelle zu verbefsern. Im Falle einer gefundenen Ungleichheit der Ringdurchmefser aber würde nur diejenige Lage des Fernrohrs in seinen Lagern beim Nivellieren zu benutzen sein, in welcher die Centrierung ausgeführt wurde.

Gebrauch des Stampfer-Starke'schen Niveau's zum Nivellieren.

§. 368.

Der Apparat gestattet nicht nur das in den §§. 360. und 361. angegebene Verfahren, wenn man die Mikrometerschraube J nur als Elevationsschraube beim Einstellen der Libelle benutzt, sondern gewährt auch noch ein anderes Verfahren, wenn man durch die Mikrometerschraube die Winkelbewegungen mifst, welche durch die Einstellung der anfänglich horizontalen Visierlinie nach den beiden Scheiben der Nivellierlatten sich erzeugen. Dafs diefs Verfahren vor dem gewöhnlich angewandten mit verstellbarer Scheibe einen entschiedenen Vortheil im Einstellen gewährt, da letzteres hier durch die Bewegung der Mikrometerschraube erreicht wird, leuchtet ein.

Es läfst der Gebrauch des hier in Rede stehenden Apparats sowohl die Methode des Nivellierens aus dem Endpunkte, als auch aus der Mitte zu.

Bezeichnet man für eine Station 1. 2. die Instrumenthöhe durch i, die Höhe der unteren Scheibe vom Endpunkte der Latte durch l, so ist nach §. 364. für das Nivellieren aus dem Endpunkte

$$1\,G\,2 = d \cdot \left(\frac{h-u}{o-u}\right)_1 + l - i_1 + c$$

wobei wieder, wie im §. 360., c additiv oder subtractiv zu nehmen ist, nachdem 2 höher oder tiefer als 1 liegt, oder nachdem $h - u$ negativ oder positiv ist. Man erhält daher auch allgemein

$$1\,G\,n = n\,l + \left[\left(\frac{h-u}{o-u}\right)_1 + \left(\frac{h-u}{o-u}\right)_2 + \ldots\right] d$$
$$- (i_1 + i_2 + \ldots) + (c_1 + c_2 + \ldots).$$

Eben so folgt bei der Methode des Nivellierens aus der Mitte nach §. 361, wenn man die Werthe für das Vorwärts- und Rückwärtsvisieren durch beigesetzte v und r andeutet

$$1\,G\,2 = d\left[\left(\frac{h-u}{o-u}\right)_1^v - \left(\frac{h-u}{o-u}\right)_1^r\right].$$

und wieder allgemein:

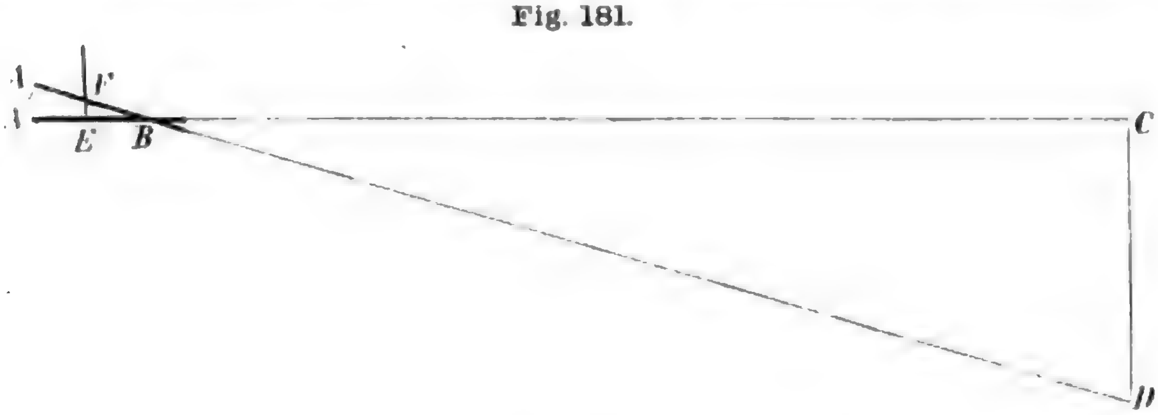
$$1\,G\,n = d\left[\left(\frac{h-u}{o-u}\right)_1^v + \left(\frac{h-u}{o-u}\right)_2^v + \ldots\right] - d\left[\left(\frac{h-u}{o-u}\right)_1^r + \left(\frac{h-u}{o-u}\right)_2^r + \ldots\right].$$

Das Gordian'sche Niveau mit Horizontalkreis und Gefällmefser.

§. 369.

Bezeichnet in Fig. 181. AB, A_1B ein um den Punkt B drehbares Fernrohr, dessen Visierlinie aus der horizontalen Lage ABC in die geneigte Lage

Fig. 181.



A_1BD gebracht ist und von den Senkrechten CD und EF geschnitten wird, so ist

$$CD : EF = BC : BE,$$

und daher

$$CD = \frac{BC}{BE} \cdot EF.$$

Stellt nun EF eine mit einer Eintheilung versehene Scale, DC einen Theil einer Nivellierlatte, AC die durch den Nullpunkt der Theilung und den Drehungspunkt C gehende horizontale Visierlinie vor, und enthält die Scale eine Eintheilung, die dem Verhältnifs $\frac{BC}{BE}$ entspricht, so wird durch EF unmittelbar die Höhe DC der beiden Visierlinien d. h. das Gefälle der Punkte E und D dargestellt werden, wenn der einvisierte Punkt D der Latte und der Drehungspunkt B denselben Verticalabstand von zwei Punkten des Terrains haben.

Es sei nun BC eine bestimmte Längeneinheit, z. B. eine Ruthe, so ist, wenn $BE = \frac{1}{n}BC$, auch $EF = \frac{1}{n}CD$ oder $CD = n \,.\, EF$. Da nun bei den Gefällbestimmungen immer der landesübliche Fufs zur Einheit genommen

wird, so ist, um die auf die Scale aufzutragenden Einheiten als **Fufse** des Gefälles, bei dem Abstande der Latte von einer Ruthe, ablesen zu können, und bei der Länge von $EB = 1$ Fufs, für die Hannoversche Ruthe = 16 Fufs, $\frac{12}{16} = \frac{3}{4}$ Zoll zur Einheit der Scale zu nehmen.

Für eine zwei-, drei-, vier- . . . fache Entfernung würde demnach das Gefälle beziehungsweise $\frac{BC}{BE} \cdot 2EF$, $\frac{BC}{BE} \cdot 3EF$, $\frac{BC}{BE} \cdot 4EF \ldots$ sein.

§. 370.

Das in den Figg. 182. bis 184. im Drittel wahrer Gröfse dargestellte, von **Breithaupt** in Cassel verfertigte und von dem Ingenieur **Gordian** angegebene Libellenniveau enthält den mit dem Dreifufs AA verbundenen, von 10 zu 10 Minuten getheilten Horizontalkreis BB, desen Verniere unmittelbar 10 Sekunden angeben. In der Büchse des Dreifufses dreht sich ein 6 Zoll langer Konus von Stahl, der nicht nur die Alhidade C, sondern auch den hinreichend starken S förmig gebogenen Fernrohrträger DEF trägt. Der mittlere Theil des letzteren stellt einen ausgebohrten Cylinder dar, der durch Schrauben auf einem cylindrischen Ansatz der Alhidade befestigt ist. Von diesem mittleren Theile aus erweitert sich das obere Ende in zwei Gabelstücke FF_1, deren obere Enden wieder in vertical stehende Parallelepipeden ff_1 auslaufen. Zwischen letzteren ist die Drehungsachse des achromatischen Fernrohrs GG um Schraubenspitzen gg_1 drehbar. Da die Drehungsachse eine zum Verticalzapfen des Niveau's normale Lage haben mufs, so ist die Stellung der einen Schraube g verstellbar eingerichtet, indem das die Schraube tragende Stück f_2 in einem Ausschnitt des Parallelepipedums f durch zwei in verticaler Richtung wirkende Schrauben in eben dieser Richtung bewegt werden kann.

Das entgegengesetzte Ende des Trägers läuft in ein starkes Parallelepipedum D aus, auf welchem die Grundplatte H der aus zwei, vorn und hinten aufgeschlitzten und mit einem Dach versehenen Platten JJ_1, des **Scalenträgers**, festgeschraubt und zwischen welchen das Fernrohr auf und nieder beweglich ist.

Die Schlitze des Scalenträgers nehmen zugleich die Vernierplatten KK_1 auf, welche selbstverständlich die Verticalbewegung des Fernrohrs längs der Theilung theilen müfsen. Zwischen den Platten des Scalenträgers ist das Fernrohr von einer starken prismatischen Hülse L umgeben, welche die Achsen für die Verticalplatten aufnimmt. Von ihr gehen noch zwei, durch eine Druckfeder mit einander verbundene Rollen ll_1 aus, welche auf einer an der Objectivröhre des Fernrohrs befestigten stählernen Schiene l_2 laufen, um den nöthigen Druck auf das Fernrohr ohne hindernde Friction hervorzubringen. Aufserdem legen sich um das vordere Ende des Objectivrohrs noch zwei, hinlänglichen Spielraum darbietende und mit seitlichen, federnden Bügeln nn_1 verbundene Ringe mm_1, wodurch die Vernierplatten gehalten werden. Um auch endlich noch das

Ausschleifen der Vernierleitungen innerhalb des Scalenschlitzes zu verhindern, liegt hinter jeder Platte wieder eine Druckfeder mit Frictionsrollen.

Zur Hemmung der groben Bewegung des Fernrohrs und zur feinen Einstellung desselben dient die Druckschraube M und die Mikrometerschraube N. Ein von der Hülse L ausgehender Leitungsarm O wird nämlich mittelst eines ihn umschliefsenden Ringes und durch Anziehung der Druckschraube gehemmt, während der aufgeschlitzte und mit einer Klemmschraube versehene Fortsatz des Ringes die Mutter der Mikrometerschraube enthält. Eben so bezeichnet M_1 und N_1 beziehungsweise die Klemmschraube und die Mikrometerschraube für das Mikrometerwerk der Horizontalbewegung des Niveau's.

Zur horizontalen Einstellung der Visierlinie dient die Röhrenlibelle P, welche auf zwei das Fernrohr umgebenden Ringen ruht. Die auf der Fufsplatte des Scalenträgers angebrachte und mit den Correctionsschrauben versehene Röhrenlibelle Q soll zur Versicherung des festen Standes des Scalenträgers bei der Verticalbewegung des Fernrohrs dienen.

S, S_1 und S_2 bezeichnen Gegengewichte, welche letztere beide mit ihren Stiften in die Umdrehungachse des Fernrohrs gesteckt und durch Knopfschrauben befestigt werden.

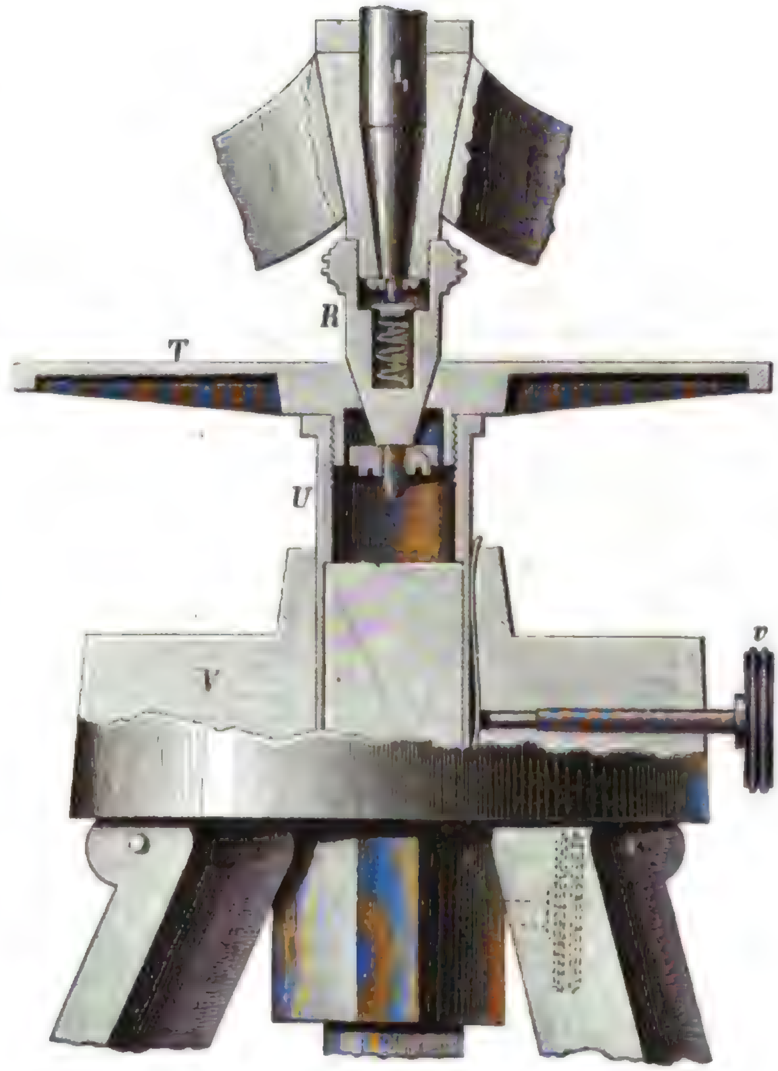
Die Entfernung des Drehpunktes des Fernrohrs von der Vernierkante, also von der Scale, beträgt 1 Hannoverschen Fufs, die vom Nullpunkte aus nach beiden Seiten aufgetragenen Längen 0.1, 1.2, 2.3 ... betragen nach §. 369. Dreiviertel des hannöverschen Zolles, welche bis auf halbe Zehntel getheilt sind; der Vernier giebt unmittelbar Zweitausendstel an. Auf der gegenüberstehenden Ebene J_1 des Scalenträgers finden sich ebenfalls auf beiden Seiten des Nullpunktes noch die in der Praxis am meisten vorkommenden Neigungsverhältnisse 1 : 5, 1 : 16, 1 : 20, 1 : 24, 1 : 32, 1 : 50, 1 : 100, 1 : 150, 1 : 200, 1 : 240, 1 : 300, 1 : 320, 1 : 400, 1 : 480, 1 : 500, 1 : 600, 1 : 640, 1 : 720 und 1 : 800, daher auch der Apparat als Gefällmefser benutzt werden kann. Einige dieser Verhältnisse sind in der Zeichnung auf dem linken Schenkel der vorderen Platte J dargestellt.

Um die bedeutende Last des beweglichen Obertheils des Instruments auf die Büchse zu vermindern, ruht, wie Fig. 184. zeigt, die Verticalachse A_1 auf einer Brücke a, die von einer Spiralfeder getragen wird, während letztere wieder in der cylindrischen Ausbohrung des cylindrisch-konischen Stücks R ruht, welches an den unteren Rand der Dreifufsbüchse geschraubt wird und zur Befestigung des Apparats auf dem Stativ dient.

Da endlich die Höhe des Drehpunkts des Fernrohrs genau mit der Scheibenhöhe der Nivellierlatte, von der Oberfläche der anzuwendenden Stationspfähle gerechnet, übereinstimmen mufs, so ruht, zur bequemen und sicheren Erfüllung dieser Forderung, der Apparat mit den Spitzen der Stellschrauben des Dreifufses auf einem genügend starken Teller T, der an dem oberen Ende eines



Fig. 184.



konischen, Oben mit Messing beschlagenen Stabes U befestigt ist. Letzterer läfst sich in dem Holzkopfe V des Stativs beliebig verschieben und durch zwei seitlich liegende, gegen eine plattenförmige Feder tretende Druckschrauben v befestigen.

Anmerkung. Ein im Allgemeinen nach denselben Principien construiertes Niveau von Breithaupt enthält die Tafel 21. seiner Sammlung von Zeichnungen u. s. w.

Die Berichtigung des Niveau's.

§. 371.

Da von einer Centrierung des Fernrohrs bei diesem Apparat keine Rede sein kann und die Horizontalstellung des Horizontalfadens auf die schon mehrfach angegebene Art geschieht, so ist zu untersuchen:

1. **Die normale Lage der Visierlinie des Fernrohrs gegen die Verticalache A_1 des Niveau's.**

Diese Untersuchung wird unter Anwendung zweier Hülfsfernröhre wie im §. 345. 1. vorgenommen, nachdem vorläufig der Indexstrich der Scale mit dem Nullpunkt der Theilung zur Coincidenz, das Fernrohr über den einen Arm des Dreifufses gebracht und die Verticalachse nahezu vertical gestellt ist. Eine etwa gefundene Abweichung wird zur Hälfte an der betreffenden Stellschraube des Dreifufses, zur anderen aber an den Stellschräubchen $\gamma\gamma$ (Fig. 182.) der Fadenkreuzplatte verbefsert.

2. **Die normale Lage der Drehungsachse des Fernrohrs gegen die Verticalachse A_1 des Niveau's.**

Die Untersuchung wird nach §. 313. unter Anwendung eines künstlichen Horizonts oder an einem senkrecht aufgehangenen Faden vorgenommen und die etwa gefundene Abweichung zur Hälfte an dem verstellbaren Schraubenlager f_2 (Fig. 182.) verbefsert.

3. **Berichtigung der Aufsetzlibelle P und der Versicherungslibelle Q (Fig. 182) und Verticalstellung des Verticalzapfens.**

Nachdem man wieder, wie in 1., den Index auf 0 der Theilung und auch das Fernrohr über den einen Arm des Dreifufses gestellt hat, bringe man die Libelle P durch die zugehörige Stellschraube zum Einspielen, setze die Libelle um und berichtige eine etwa sich zeigende Abweichung auf bekannte Weise theils durch die Stellschraube des Dreifufses, theils durch die Correctionsschraube der Libelle. Hat man nach mehrmaliger Wiederholung dieses Verfahrens keine Abweichung mehr erhalten, so ist nicht nur die Libelle P berichtigt, sondern auch die Visierlinie des Fernrohrs horizontal.

Nunmehr läfst sich durch die erwähnte Libelle der Verticalzapfen des Instruments durch die Stellschrauben des Dreifufses auf bekannte Weise genau vertical stellen.

Gleichzeitig läfst sich nun auch die Versicherungslibelle Q an der zugehörigen Correctionsschraube berichtigen.

Gebrauch des Nivellierinstrumentes zum Nivellieren und Abstecken eines vorgeschriebenen Gefälles.

§. 372.

Auch diefs Nivellierinstrument gestattet, wie das Stampfer-Starke'sche, die Anwendung der gewöhnlichen, in den §§. 360. und 361. angegebenen Nivelliermethoden, wobei nur vor dem Einstellen der Luftblase der Index der Scale mit ihrem Nullpunkt zur Coincidenz gebracht und die Druckschraube M fest angezogen werden mufs.

Aufserdem kann aber auch das Gefälle zweier oder mehrerer Punkte unmittelbar aus der Ablesung an der Scale und ihrer Horizontalentfernung auf folgende Art bestimmt werden, wobei aber wiederum sowohl das Nivellieren aus dem Endpunkte, als das aus der Mitte der Station in Anwendung gebracht werden kann. Es soll daher hier nur das Verfahren für das Nivellieren aus dem Endpunkte angegeben werden.

Man stellt nach den im §. 360. angegebenen Vorschriften das Instrument über dem Stationspfahle 1 auf, stellt die Luftblase der Röhrenlibelle P und dann das Ocular, durch Verstellung des Tellers T, auf eine Höhe ein, welche man der Mitte der Scheibe der Nivellierlatte gegeben hat und 5 Fufs betragen mag. Nachdem der Gehülfe die Latte auf dem Stationspfahl 2 durch Hülfe der an ihrer Hinterseite angebrachten Dosenlibelle genau senkrecht gestellt hat, richtet man das Fadenkreuz des Fernrohrs durch die zugehörige Mikrometerbewegung auf die Ziellinie der Scheibe und liest den Stand des Verniers der Scale ab; wird diese Ablesung dann mit der bekannten oder gemefsenen Horizontalentfernung beider Stationspunkte multipliciert, so erhält man das in Fufsen und Decimaltheilen desselben ausgedrückte positive oder negative Gefälle, je nachdem der Nullpunkt der Scale beziehungsweise über oder unter dem Indexstriche liegt. Für die Ablesung $+ 0{,}224$ und für 50 Ruthen Länge ist daher das Gefälle $= 50 . 0{,}224$ oder 11,2 Fufs.

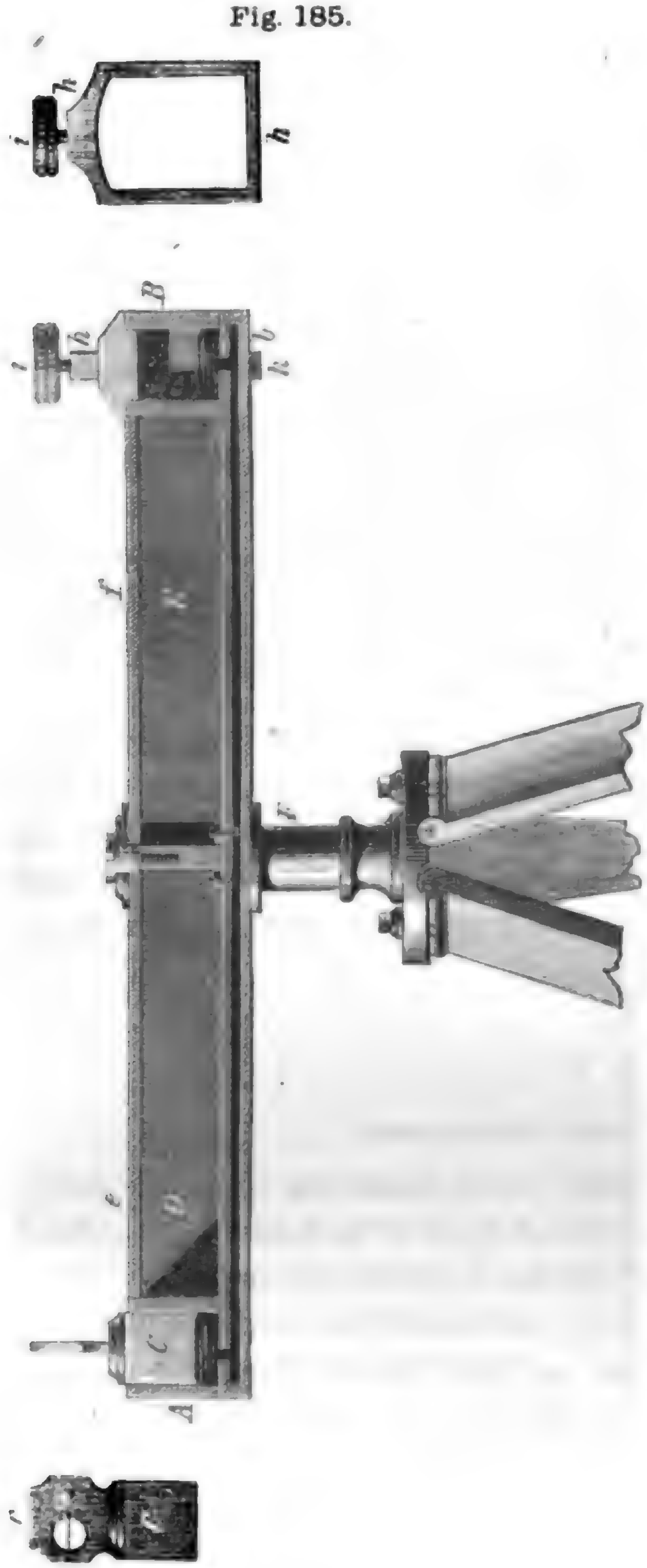
Bei wirklich ausgeführten Nivellements wird man die in einer gegebenen Nivellementslinie zu nivellierenden Punkte gewöhnlich in einem Abstande von 10, zuweilen auch von 5 Ruthen annehmen, und dann von 1 aus, successiv das Gefälle der Punkte 2. 3. 4. 5. . . . bestimmen.

Ist man, wie es bei dem Nivellement von Querprofilen meistens der Fall sein wird, gezwungen, aufserhalb der Profilachse seinen Standpunkt zu nehmen, so mufs wieder selbstverständlich das Gefälle desselben gegen einen bereits nivellierten Punkt und daher auch der Horizontalabstand beider bestimmt werden, ehe man das Gefälle von Punkten des Querprofils bestimmen kann.

§. 373.

Soll mit dem Nivellierinstrumente das gegebene Gefälle einer zu projicierenden Strafse an einem Bergabhange z. B. das Gefälle 1 : 100 durch Pfähle bezeichnet werden, so wird zunächst der Indexstrich auf die zu bestimmende Gefälllinie der Scale eingestellt und wieder die Instrumentenhöhe der Zielhöhe gleich gemacht. Dann wird ein Punkt an dem Bergabhange in der festzulegenden Richtung aufgesucht, in welchem die Visierlinie des Fernrohrs die Ziellinie der Scheibe der Nivellierlatte trifft und derselbe durch einen Pfahl bezeichnet. Indem man nun mit dem Instrumente an diesen zweiten Punkt geht und wie vorhin einen 3ten Punkt bestimmt u. s. f., wird man allmälig die Richtung der unter einem bestimmten gegebenen Gefälle zu bestimmenden Curve an allen den Stellen festlegen, die der Beschaffenheit des Terrains und der Gestalt des Abhanges gemäfs zu bestimmen sein werden.

Fig. 185.



B. Die Röhren-Nivellierinstrumente.

§. 374.

1. Die Quecksilber-Wage.

Diefs von dem Engländer Keith 1790 angegebene Nivellierinstrument ist in Fig. 185. im Viertel wahrer Gröfse im Durchschnitt dargestellt. Es besteht aus zwei parallelepipedischen Holzgefäfsen *A* und *B* von etwa 1 Zoll Weite und $1^1/_3$ Zoll Höhe, die mit einer engeren, etwa $1^1/_3$ Fufs langen Röhre *ab* mit einander in Verbindung stehen und bis zu einer bestimmten

Höhe mit Quecksilber gefüllt werden. Auf diefs werden zwei gleich schwere Würfel *C* (Schwimmer) von Ebenholz oder Elfenbein gesetzt, welche ein zum Vor- und Rückwärtsvisieren eingerichtetes Diopter *c* tragen. Durch die Visierlinie beider Dioptern, welche beim Nichtgebrauche in den hohlen Räumen *D* und *E* liegen, wird der scheinbare Horizont angegeben. Beim Transporte werden die letzteren durch eine um *d* drehbare Deckplatte *ef*, und die Gefäfse durch zwei Holzdeckel *g* geschlofsen, die durch Metallzwingen *hh* und Druckschrauben *i* festgehalten werden. Mittelst einer Metallhülse *F* wird das Instrument auf den Zapfen eines Stativs gestellt.

Prüfung und Berichtigung der Quecksilberwage.

§. 375.

Die Quecksilberwage bedarf vor ihrem Gebrauche zum Nivellieren nur insofern einer vorläufigen Untersuchung, als man prüft, ob die Dioptern auf den Würfeln in gleicher Höhe auf dem Quecksilber schwimmen. Man stelle den Apparat in dem Endpunkte *A* einer Linie *AB*, und nach der Visierlinie der Dioptern die Zielscheibe der in *B* errichteten Latte auf. Setzt man dann die Schwimmer in umgekehrter Ordnung auf das Quecksilber, so mufs auch die zweite Visierlinie auf die vorhin eingestellte Zielhöhe gerichtet sein. Eine etwa erforderliche Berichtigung wird dann an dem ausgespannten Horizontalfaden des einen Diopters vorgenommen.

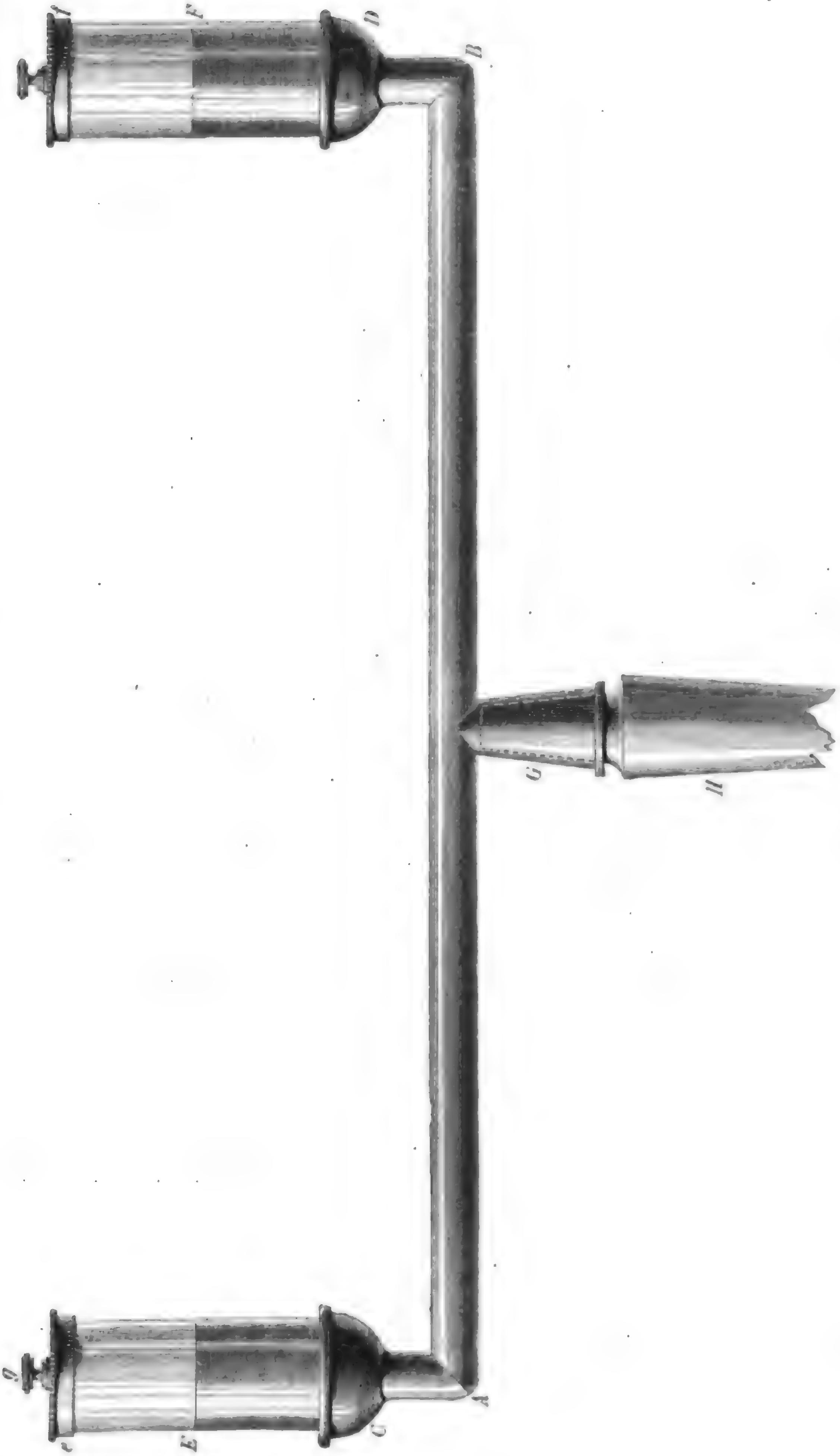
Aufserdem sind aber vor dem Gebrauch der Wage die Gefäfse und Würfel sorgfältig von etwaigem Staub zu reinigen, was am zweckmäfsigsten durch Ausspülen der ersteren mit gereinigtem Quecksilber geschieht. Auch ist das zum Nivellieren anzuwendende Quecksilber durch einen engzusammengedrehten Papiertrichter in die Gefäfse zu giefsen, damit das sich etwa gebildete graue Quecksilberoxyd entfernt wird.

§. 376.

2. Die Kanalwage (Wafserwage).

Die in Fig. 186. im Viertel wahrer Gröfse dargestellte Kanalwage besteht aus einer meistens kupfernen Blechröhre *AB* von 3 bis 4 Fufs Länge, die an ihren Enden verticale Ansätze *C*, *D* enthält, in welchen die etwa 6 Zoll langen und 2 Zoll weiten Glascylinder *E*, *F*, von genau gleichem Durchmefser, wafserdicht eingekittet sind. Letztere haben an ihren oberen Enden eine ebenfalls wafserdicht angekittete Metallfafsung *e*, *f* mit einer durch eine Schraube *g*, *h* verschliefsbaren Oeffnung. In der Mitte der Röhre ist eine konische Büchse *G* angelöthet, welche auf den Zapfen eines Stativs *H*, in der Zeichnung als Stockstativ dargestellt, gebracht wird.

Fig. 186.



Man füllt das Werkzeug durch die eine der erwähnten Oeffnungen etwa bis zur halben Höhe der Glasröhren mit reinem gefärbten Wafser. Der scheinbare Horizont desselben wird durch die horizontalliegenden Ränder *E, F* des Wafsers gebildet. Hin und wieder hat man auch an den Cylinderflächen zwei mit einem Horizontalfaden versehene verschiebbare Dioptern zu diesem Zwecke angebracht.

§. 377.

Einer besonderen Prüfung bedarf die Kanalwage nicht, da bei vorausgesetzter völliger Reinheit der inneren Glasröhrenflächen und des Glases selbst, gleichem Druck der über dem Wafser in den Glasröhren stehenden atmosphärischen Luft und gleichem, so wie nicht zu geringem Durchmefser der Glasröhren, um die Haarröhrchenattraction unwirksam zu machen, nach physikalischen Gesetzen die oberen Wafserkanten in den Röhren den scheinbaren Horizont darstellen.

Vor dem Gebrauch ist daher die Kanalwage mit reinem Wafser sorgfältig auszuspülen, um allen in den Glasröhren angesetzten Staub zu entfernen. Bei dem Transport derselben von dem einen Standort bis zu einem anderen sind vor dem Aufstellen und Visieren die Schrauben *g, h* etwas zu lüften, damit durch die etwa in der einen Röhre entstandene verdichtete Luft kein ungleicher Druck auf die Wafserflächen ausgeübt wird.

Der Gebrauch der Röhren-Nivellementsinstrumente.

§. 378.

Das Verfahren des Nivellierens mit den vorhin beschriebenen Instrumenten stimmt im Wesentlichen mit dem bei den Libellenniveau's angewandten überein, nur dafs bei den zuerst genannten nicht allein die zu erzielende Genauigkeit, sondern auch die Länge der Stationen eine geringere ist. Wendet man die Methode des Nivellierens aus der Mitte an, so darf die Stationslänge höchstens 30 bis 40 Ruthen betragen, so dafs daher selbstverständlich von einer Correction der Visierlinie keine Rede sein kann. Bei der Anwendung der Quecksilberwage ist besonders noch darauf zu achten, das der Apparat nahezu horizontal aufgestellt wird, damit die auf das Quecksilber gesetzten Schwimmer frei auf demselben schwimmen und ihre Seitenebenen nicht mit den Gefäfswänden zur Berührung kommen.

Die Nivellementstabellen.

§. 379.

Die Schemata für die Nivellementstabellen haben insofern eine mehr oder weniger verschiedene Einrichtung, als man das Nivellieren aus dem Endpunkte,

oder das aus der Mitte der Station, oder je nachdem man die unter *A* (§. 335. u. f.) und *B* (§. 351. u. f.), so wie die in den §§. 374 bis 378, oder die unter *C* (§. 364. u. f.) aufgezählten Nivellierinstrumente anwendet, oder endlich, als man theils durch die Natur der anzuwendenden Instrumente, theils durch die Beschaffenheit des zu nivellierenden Terrains, gezwungen ist, von einem Standpunkte aus immer nur eine Station zu nivellieren, oder mehrere in derselben Richtung liegende Punkte einer Stationslinie nivellieren kann, wie letzteres Verfahren bei der Anwendung der Libellenniveau's bei der Anlage von Strafsen, Eisenbahnen, Kanälen u. s. w. meistens gefordert wird.

§. 380.

Das Schema für das Nivellieren aus dem Endpunkte der Station fordert:

a. Zwei Columnen für die Nummer der Nivellementspfähle der Endpunkte und eine dritte für die Länge der Stationen. Letztere gelten bei dem Nivellieren nach verschiedenen Punkten derselben Station immer bis zu dem Punkte, in welchem die Nivellierlatte errichtet ist.

b. Eine Columne für die Zielhöhe, die auch wohl durch die Ueberschrift „Vorwärts" bezeichnet wird, und

c. eine Columne für die Instrumenthöhe.

Die dann noch folgenden Columnen dienen für die Berechnung des unverbefserten Gefälles aus den Columnen b. und c.; für die mit dem Vorzeichen anzubringenden Correctionswerthe (§. 358.); für die verbefserten Gefälle, welche letztere beide aber selbstverständlich wegfallen, wenn die geringe Länge der Stationen keine Correction erfordert; und endlich für die Angabe der Ordinaten unter der Haupthorizontale. Diese Columnen sind nur in dem ersten und zweiten Schema ausgefüllt, in jedem der anderen aber weggelafsen.

Nivellement-pfähle der Station. Von	Nach	Länge Ruthen	Zielhöhe Fufs	Instrumenthöhe Fufs	Gefälle	Fufs	Correction	Linien	Verbefsertes Gefälle	Fufs	Ordinate über oder unter Null. Fufs	Bemerkungen.
0											50,0	
0	1	50	8,34	4,32	+	4,02	—	1,3	+	4,01	54,01	
1	2	60	2,12	4,45	—	2,33	+	1,8	—	2,35	51,66	
2	3	50	14,06	4,38	+	9,68	—	1,3	+	9,67	61,33	
3	4	50	10,82	4,27	+	6,55	—	1,3	+	6,54	67,87	
4	5	40	7,58	4,30	+	3,28	—	0,8	+	3,27	71,14	
5	6	50	3,70	4,52	—	0,82	+	1,3	—	0,83	70,31	
6	7	30	8,52	4,42	+	4,10	—	0,5	+	4,09	74,40	
0											50,00	
0	1	10	5,78	5,12	+	0,66			+	0,66	50,66	
	2	5	6,22		+	1,10			+	1,10	51,76	
	3	5	7,45		+	2,33			+	2,33	54,09	
	4	10	6,05		+	0,93	—	0,5	+	0,92	55,01	
	5	10	6,34		+	1,22	—	0,8	+	1,21	56,22	
	6	5	6,12		+	1,00	—	1,1	+	0,99	57,21	
	7	5	7,32		+	2,20	—	1,3	+	2,19	59,40	
7	8	10	8,45	5,02	+	3,43	—	1,8	+	3,41	62,81	
	9	10	4,72		—	0,30			—	0,30	62,51	
	10	5	3,01		—	2,01			—	2,01	60,50	

Schema für das Nivellieren mit dem Stampfer-Starke'schen Niveau.

Nivellements-pfahl		Länge der Station.	Instrument-höhe	Zielhöhe. Werth für			Berechneter Werth für			Bemerkung.
Von	Nach	Ruthen		h	o	u	$h-u$	$o-u$	$\frac{h-u}{o-u}$	
				in Scalentheilen						

Schema für das Nivellieren mit dem Gordian'schen Niveau.

Nivellements-pfahl		Länge der Station.	Scalen-theile	Gefälle		Bemerkungen.
Von	Nach	Ruthen	Fuſs		Fuſs	

§. 381.

Die Schemata für das Nivellieren aus der Mitte der Station unterscheiden sich im Wesentlichsten dadurch von denen für das Nivellieren aus dem Endpunkte, daſs die Stations- oder Standpunkte des Instruments nur dann besonders bemerkt werden müſsen, wenn von ihnen aus mehrere in derselben Richtung liegende Punkte zu nivellieren sind und daſs für die Rubrik „Instrumenthöhe" die Columne „Rückwärts" substituiert wird, auſserdem auch nach §. 362. die Columnen für die Correction und das verbeſserte Gefälle wegfallen.

Schema für das Nivellieren mit den gewöhnlichen Libellenniveau's oder den Röhren-Nivellierinstrumenten.

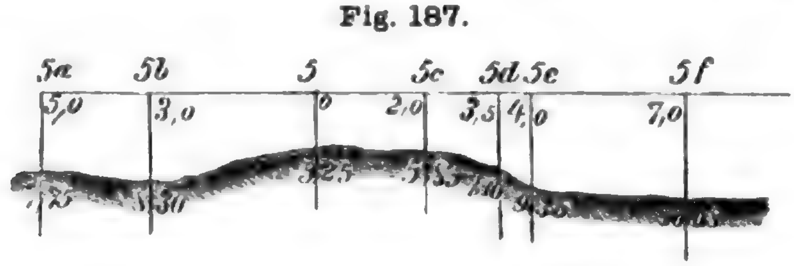
Stationspunkt	Rückwärts. Nach Nivellementspfahl		Vorwärts. Nach Nivellementspfahl		Länge der Station von der Mitte aus.	Bemerkungen.
№	№	Fuſs	№	Fuſs	Ruthen	
	0	8,23	1	10,54	30	
	1	15,47	2	5,82	30	
	2	2,75	3	10,23	30	
	3	5,82	4	8,95	40	
	4	7,31	5	7,32	40	
	5	10,08	6	9,56	40	
	...	...	...	...	....	
	21	7,62			50	
	22	9,32			40	
	23	10,82			30	
	24	13,09			20	
25			26	5,41	20	
			27	6,81	30	
			28	7,23	40	
			29	8,86	50	

Hiernach dürfte das Schema für das Stampfer-Starke'sche oder Gordian'sche Nivellierinstrument, mit Berücksichtigung der im vorigen Paragraphen angegebenen Schemata leicht anzugeben sein.

§. 382.

Für die Quernivellements bedient man sich zum Eintragen der gemeſsenen Gröſsen nicht immer eines für die Längennivellements analog eingerichteten Schema's, sondern trägt mit Bemerkung des Stationspunktes, durch welchen das Querprofil gelegt ist, und der Höhe des Standpunktes des Instruments, sowohl die Längen, als die Höhen für die in dem Querprofil liegenden Punkte in eine nach dem Augenmaſs entworfene Zeichnung ein, wie dieſs Fig. 187. erläutert.

Fig. 187.



Das zu demselben Querprofil gehörige Schema dürfte folgende Einrichtung haben, wobei nur noch zu bemerken ist, dafs der Standpunkt für das Niveau so aufserhalb des Querprofils angenommen wurde, dafs sämmtliche Punkte 5 *a*, 5 *b* ... 5 *f* von ihm aus nivelliert werden konnten.

№ pfahl des Längenprofils	Standpunkt für das Querprofil	Endpunkt für das Querprofil	Entfernung vom № pfahl Ruthen	Instrumenthöhe Fufs	Vorwärts Fufs	Bemerkungen.
5	*A*	5 *a*	5	4,40	7,75	
		5 *b*	3		8,30	
		5	0		5,25	
		5 *c*	2		5,85	
		5 *d*	3,5		7,10	
		5 *e*	4		9,35	
		5 *f*	7		10,08	

C. Die Loth-Nivellierinstrumente.

§. 383.

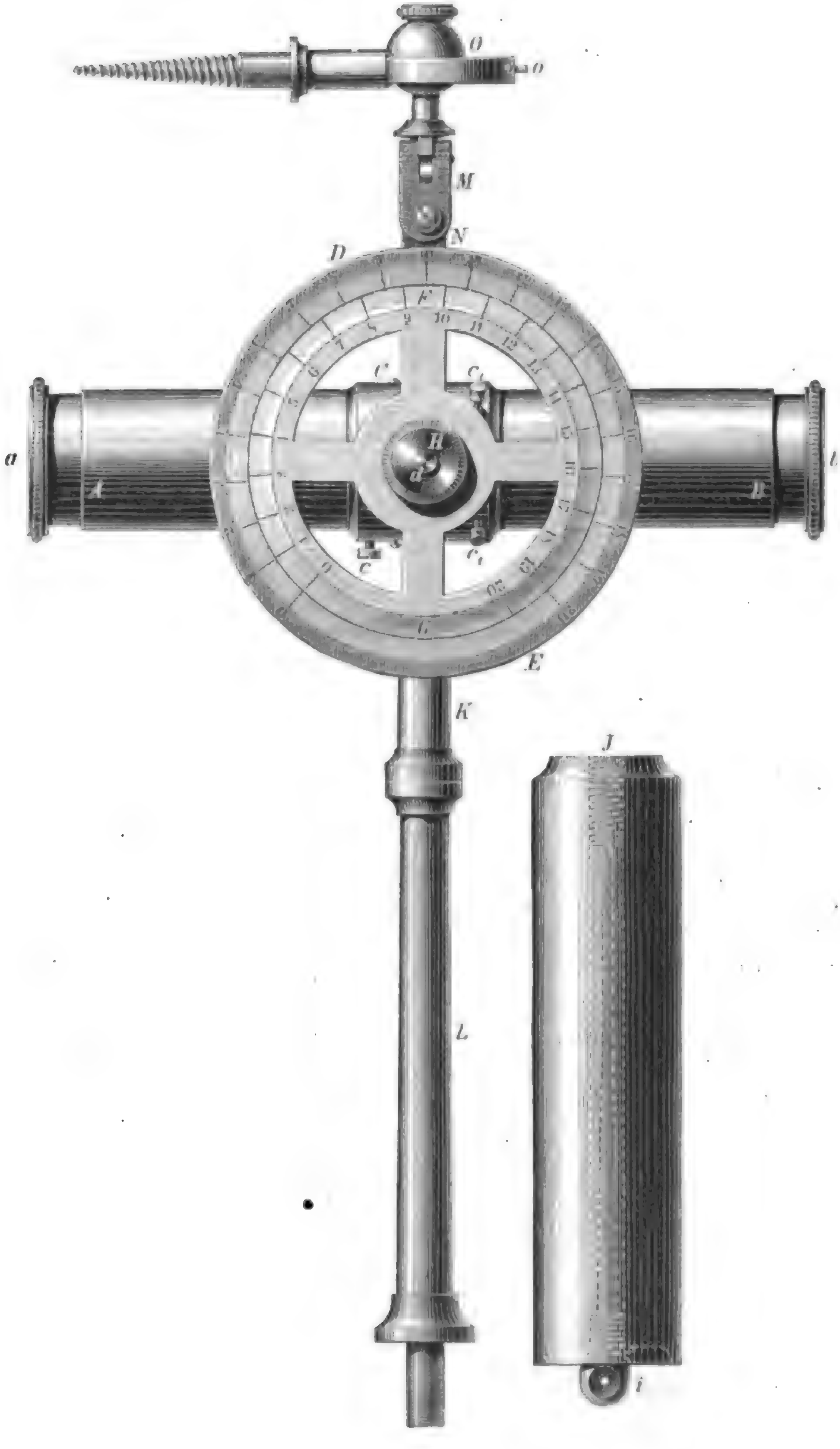
1. Mayer's Patent-Gefällmefser. *)

Der vom Obergeometer Mayer in Karlsruhe angegebene Patent-Gefällmefser soll vorzugsweise theils bei generellen Nivellements, durch welche gewöhnlich vor den Strafsen- und Eisenbahnanlagen, den Flufsregulierungen u. s. w. eine vorläufige Angabe über die Richtung des zu nehmenden Weges und eine allgemeine Kenntnifs von der Lage der Terrainpunkte erworben werden soll, theils aber auch zur Aufsuchung der in technischer Hinsicht zweckmäfsigsten Tracen für anzulegende Strafsen, Eisenbahnen u. s. w. nach bestimmten Gefällen dienen.

Fig. 188. stellt die vordere Ansicht des Apparats, wie er beim Gebrauche an einem Stockstativ aufgehangen wird, in wahrer Gröfse vor. *A B* bezeichnet ein Sehrohr, das an jedem Ende eine mit einer Convexlinse von gleicher Brennweite versehene Auszugröhre *a*, *b*, in dem gemeinschaftlichen Brennpunkte aber ein Fadenkreuz enthält. Obgleich daher nicht achromatisch, kann durch die Reinheit der Glaslinsen doch ein klares Bild des beobachteten Gegenstandes erzlelt werden. Das Rohr kann durch vier Schräubchen c, c_1 c_1 in dem Ringe *C* befestigt, aber auch etwas verschoben werden. Ein seitlicher cylindrischer Fortsatz

*) Beschreibung und Gebrauchsanweisung des Patent-Gefällmefsers u. s. w. von V. Mayer. Karlsruhe, 1855.

Fig. 188.



des Ringes nimmt auf einem kleinen Konus den auf drei Quadranten in 40 gleiche Theile getheilten Kreis DE und auf einem kleinen cylindrischen, in Schraubengewinde endenden Zapfen d, den kleinen Kreis FG auf. Durch die aufgeschraubte Mutter H wird letzterer mit dem Sehrohr AB verbunden und kann durch dessen Bewegung in einer Verticalebene gegen den durch ein angehängtes Gewicht J festgehaltenen gröfseren Kreis bewegt werden. Er enthält eine solche Eintheilung, dafs durch die Coincidenz zweier gleichnamiger Striche beider Eintheilungen das Gefälle von halb zu halb, bis 20 Procent angegeben wird. Fallen demnach die Striche 6, $6^1/_2$, 7 . . . beider Eintheilungen zusammen, so drückt die mit der Bodenfläche parallele Visierlinie des Sehrohrs beziehungsweise 6, $6^1/_2$, 7 . . . Procent Gefälle der Bodenfläche aus.

Unten an der Hinterfläche des Kreises DE ist durch Schrauben ein cylindrisches Stück K befestigt, in welches der an dem unteren Ende mit einem Schraubengewinde versehene Stahlcylinder L geschraubt wird, während durch das angeschraubte cylindrische Gewicht J, der Visierlinie des Sehrohrs eine horizontale Lage ertheilt wird; dabei müfsen dann selbstverständlich die Nullpunkte der Eintheilungen beider Kreise coincidieren. Zum etwaigen Gebrauch des Cylinders L als Schraubenzieher enthält sein oberes in das Stück K eingeschraubtes Ende eine angefeilte Schneide und zum Berichtigen einzelner Theile des Instruments läfst sich in die Durchbohrung des Cylindergewichts J eine Stahlnadel i schrauben und beliebig daraus entfernen.

An dem oberen Ende des Kreises DE ist zum Aufhängen des Apparats wieder mittels Schrauben ein mit dem beweglichen Doppelcharniere M verbundenes Stück N befestigt. Das obere Glied desselben läuft in eine Kugel aus, welche in eine eiserne Gabel O gehängt wird, deren entgegengesetztes Ende in eine Holzschraube zum Befestigen in einem 5 Fufs hohen Stockstativ ausläuft. Durch den vorgesteckten Stift o wird das Herausgleiten der Kugel aus der Gabel verhindert.

Der Apparat kann in einzelnen Theilen bequem in ein Lederetui gelegt und in diesem gut verpackt bequem in einer Tasche getragen werden.

Berichtigung und Gebrauch des Gefällmefsers.

§. 384.

Soll das Instrument richtig das Gefälle der Bodenfläche angeben, so müfsen unter vorausgesetzten richtigen Eintheilungen der Kreise bei horizontaler Lage der Visierlinie die Nullpunkte der Eintheilungen coincidieren. Hat man nun nach fester Aufhängung des Apparats die Nullpunkte zur Coincidenz gebracht, auch die Auszugröhrchen $a\ b$ bis zu dem eingerifsenen Kreise gleich weit ausgezogen, so bemerke man etwa auf einer in entsprechender Entfernung errichteten Nivellierlatte den Punkt α, auf welchen der Durchschnitt des Fadenkreuzes

gerichtet ist. Hängt man darauf den Apparat in der Gabel um, dafs das frühere Objectivende zum Ocularende wird und trifft der Kreuzungspunkt wieder den Punkt α, so ist die obige Bedingung erfüllt. Wird aber nach dem Umhängen ein anderer Punkt β getroffen, so bemerke man den Punkt γ mitten zwischen α und β und verstelle durch Anziehen und Lüften zweier diametral gegenübersitzender Correctionsschräubchen c_2 c_2 das Fadenkreuz soweit, bis nach dem wiederholten Umlegen der Punkt γ geschnitten wird. Durch das Schräubchen c wird die etwa nicht vorhandene Horizontalität des Horizontalfadens berichtigt.

Wendet man den Apparat zum Nivellieren nach der Methode aus der Mitte der Station an, so dürfte in dieser Hinsicht kaum noch etwas zu bemerken sein, obgleich selbstverständlich die dadurch erzielten Resultate wohl nur denen mit der Kanal- oder Quecksilberwage, oder den unvollkommneren und kleineren Libellenniveau's erhaltenen an die Seite zu stellen sein möchten.

Soll der Apparat als Gefällmefser gebraucht und damit z. B. aus einem Punkte A eines Bergabhanges ein zweiter Punkt B einer Linie bei 10 Procent Gefälle bestimmt werden, so bringt man die mit 10 bezeichneten Striche beider Eintheilungen zur Coincidenz, stellt sich in A mit dem Instrumente auf und sucht mittelst einer auf dieselbe Höhe gestellten Zielscheibe einer Nivellierlatte auf die schon im §. 373. erwähnte Weise den Punkt B auf.

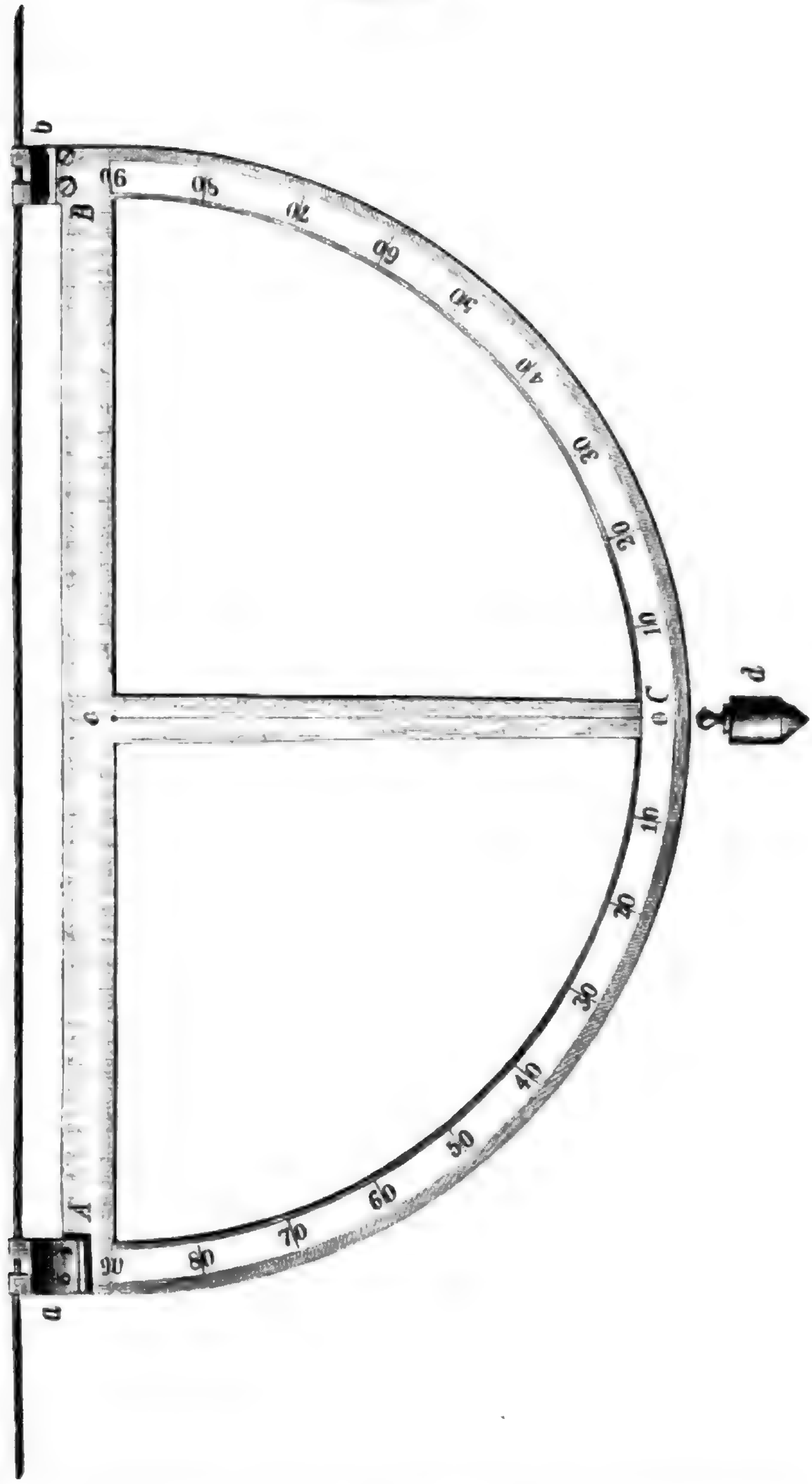
Anmerkung. Nach der oben erwähnten Schrift soll der Apparat auch als Höhenmefser, z. B. bei der Bestimmung der Höhe der Bäume dienen und findet sich zu diesem Zwecke in dem vierten Quadranten des Kreises DE eine von Grad zu Grad ausgeführte Eintheilung, für welche dann der Nullstrich des kleineren Kreises als Index dient.

§. 385.

2. Der Gradbogen oder die Markscheiderwage.

Der in Fig. 189. in halber wahrer Gröfse dargestellte Gradbogen besteht aus einem Halbkreise $A\,B\,C$ von dünnem federharten Messingblech, dessen Quadrant von dem in der Mitte gelegenen Nullpunkte aus in Viertelgrade getheilt ist. Aus dem Mittelpunkte c des Theilkreises hängt ein mit einem Gewichte d beschwertes Menschenhaar herab, das bei horizontaler Lage des Durchmefsers mit dem Nullpunkte der Theilung zusammenfällt. An den Enden des Durchmefsers sind zwei nach entgegengesetzter Seite sich öffnende Haken a, b, zum Anhängen an eine feine Schnur aus Messingdrath (vergl. §. 473.) durch Schrauben mit wenig ovalen Löchern befestigt. Fällt daher bei völliger Richtigkeit des Apparats das Loth $c\,d$ auf 0, so ist die durch die inneren Hakenflächen festgelegte Linie horizontal. Mittelst der Theilung gestattet der Gradbogen auch die Bestimmung der Neigungswinkel geneigt liegender Linien gegen den Horizont. Um an solchen geneigt liegenden Schnüren das Herabgleiten des Gradbogens zu verhindern, haben die Haken Einschnitte, durch welche kleine zugespitzte Keile von Holz oder Knochen gesteckt werden.

Fig. 189.



Die Berichtigung und der Gebrauch des Gradbogens.

§. 386.

Die Berichtigung des Gradbogens besteht bei vorausgesetzter gleicher Theilung nur in der Untersuchung, ob die durch die inneren Kanten der Haken

gedachte Linie normal steht gegen die durch den Mittelpunkt c und den Nullpunkt der Theilung gehende. Man hänge in die Mitte einer möglichst straff und nahezu horizontal ausgespannten Schnur den Gradbogen und lese den abgeschnittenen Neigungswinkel ab. Wird nun an dieselben Stellen der Schnur der Gradbogen in verwendeter Lage gehangen und stimmen in beiden Lagen die Ablesungen mit einander überein, so haben die Haken die richtige Stellung. Zur Berichtigung der etwa vorhandenen Abweichung gestattet durch die erwähnten ovalen Löcher jeder der Haken eine geringe seitliche Verschiebung, indem die zur Befestigung dienenden Zugschräubchen etwas gelüftet und nach der Verschiebung wieder fest angezogen werden.

§. 387.

Der Gebrauch des Gradbogens erstreckt sich vorzugsweise auf die beim Bergbau vorkommenden Nivellements, woher demselben auch der Name Markscheiderwage gegeben ist. Obgleich mit demselben auch horizontale Linien angegeben werden können, so dient er doch in den meisten Fällen zur Bestimmung des Neigungswinkels der schief gegen den Horizont gelegenen Richtungen. Diese werden in der gewöhnlichen Anwendung durch eine aus Messingdrath verfertigte Meſsschnur, deren Glieder durch kleine Ringe und Wirbel verbunden sind, dargestellt. Beim Markscheiden bezieht sich die Eintheilung derselben auf das Lachter, beim Feldmeſsen auf das Ruthenmaſs. (Vergl. §. 473.) Ist also a die Länge der Schnur, φ ihr Neigungswinkel, so ist der Verticalabstand der Endpunkte derselben durch den Ausdruck

$$v = a \sin \varphi$$

bestimmt. Werden also auſserdem noch die Verticalabstände der Endpunkte oder auch anderer Punkte der Schnur von der Bodenfläche gemeſsen, so ergiebt sich daraus leicht die Bestimmung des Gefälles.

Bei dem gewöhnlichen Markscheiden wird die Schnur auf Spreizen, oder an dem Grubengezimmer, oder auf der Sohle der Strecken u. s. w., bei Nivellements auf der Tagesoberfläche aber auf in die Erde getriebenen Pfählen, oder auf dreifüſsigen Böcken mit abgerundeten Kopfflächen mittelst eingeschraubter Pfriemen befestigt und gehörig straff gespannt. Weicht die Schnur nur um einige Grade von der Horizontalen ab, so darf man den Gradbogen in ihrer Mitte an beiden Seiten anhängen und von beiden Ablesungen das arithmetische Mittel nehmen. Bei gröſserer Neigung der Schnur aber ist er, ebenfalls in verwendeter Lage, an zwei Punkten aufzuhängen, die vom Anfangs- und Endpunkte gleich weit abstehen und das arithmetische Mittel jedes einzelnen Mittelwerths für den Neigungswinkel zu nehmen.

Diese Methode des Nivellierens bietet besonders bei der Bestimmung der Querprofile bei bedeutender Verschiedenheit des Terrains in kürzeren Distanzen viel Bequemlichkeit dar.

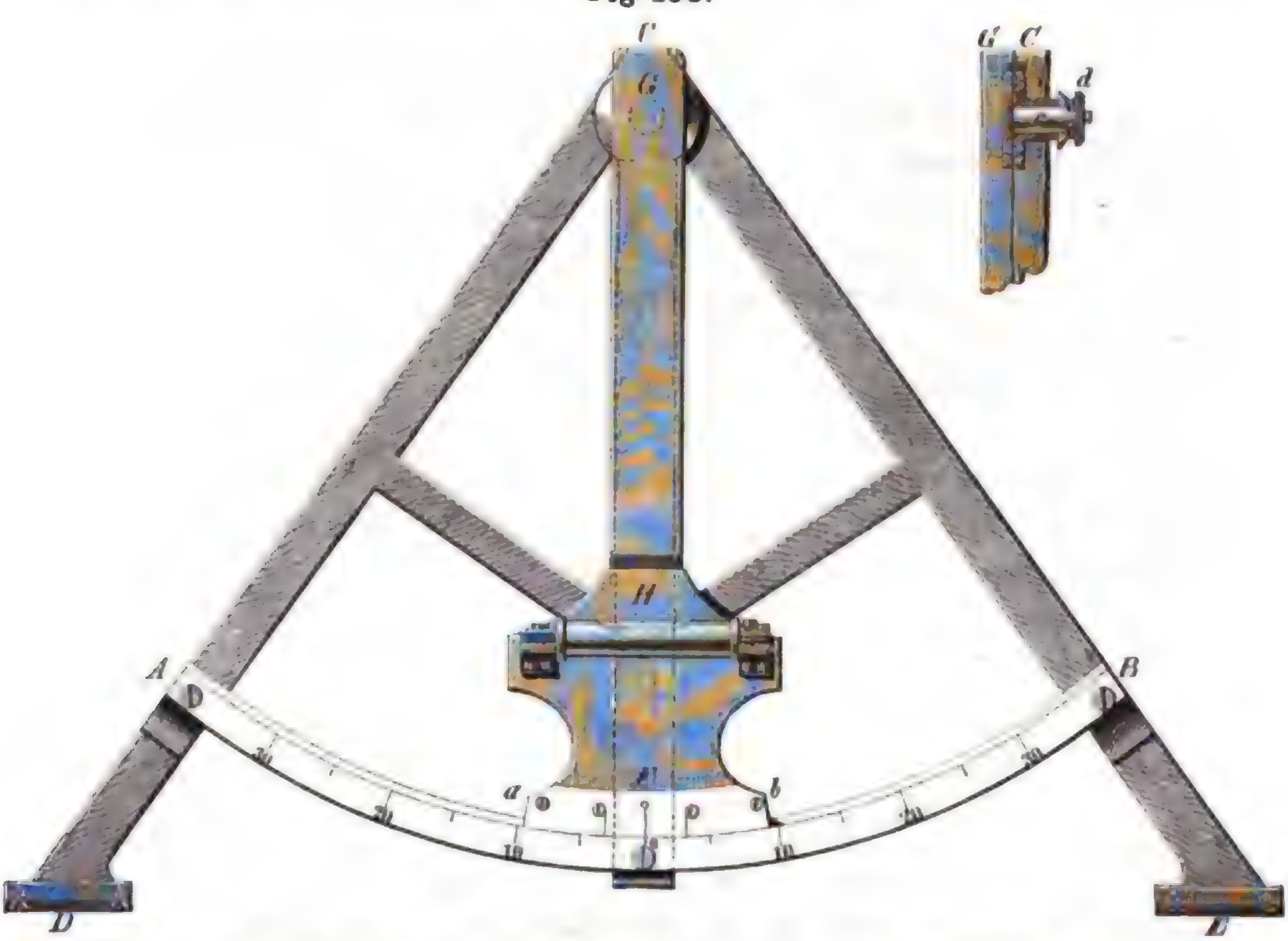
Kleinere Theile der bis auf Viertelgrade ausgeführten Theilung des Gradbogens bestimmt man nach dem Augenmaße bis auf etwa $2\frac{1}{2}$ Minuten, wofür aber die Markscheider meistens eine bei der Ablesung der kleineren Theile des bergmännischen Compasses analoge Abschätzung anwenden.

§. 388.

3. Das Klitometer*) oder die Bergwage.

Die in Fig. 190. im Viertel wahrer Größe dargestellte Bergwage besteht aus einer mit einem Gradbogen AB versehenen Setzwage CDE, in deren Spitze

Fig. 190.



eine Büchse für einen Metallzapfen angebracht ist, mit welchem sich das Alhidadenlineal FG über der Ebene der Setzwage bewegt. Durch die mit einer Vorlegscheibe verbundene Mutter d kann die Bewegung des Lineals FG moderiert werden. Das untere Ende desselben trägt einen Vernier ab, der von der bis auf Drittelgrade ausgeführten Theilung des Gradbogens einzelne Minuten angiebt. Zur Beurtheilung der senkrechten Lage des Alhidadenlineals enthält dasselbe eine mit den nöthigen Correctionsschrauben versehene Röhrenlibelle H.

Zum Nivellieren mit dem Klitometer gehört in den meisten Fällen noch ein Richtscheit, ein 10 bis 12 Fuſs langes und einige Zoll breites ebenes

*) Von χλίτυς, Abhang.

Brett, dessen schmälere Seitenebenen wenigstens, auf welche das Instrument gesetzt wird, genau parallel sind.

Eine ähnliche Einrichtung hat das Setzniveau von Weisbach, worüber Bauernfeinds Vermefsungskunde. 2. Aufl. S. 323 zu vergleichen ist.

Die Berichtigung und der Gebrauch des Klitometers.

§. 389.

Da das Loth und der Mittelpunkt der Basis der gemeinen Setzwage bei dem Klitometer durch eine hinreichend empfindliche Röhrenlibelle und den Nullpunkt des Gradbogens vertreten wird, so ist das Klitometer berichtigt, wenn bei einer Coincidenz des Indexstrichs mit dem Nullpunkt der Theilung, die Luftblase der Libelle in zwei entgegengesetzten Lagen des Klitometers auf denselben Punkten einer Horizontallinie einspielt. Zu diesem Zwecke stelle man etwa einen Mefstisch nahezu horizontal, bringe eine auf der Platte gezogene gerade Linie in die Richtung der einen Stellschraube der Horizontalstellungsvorrichtung, setze an diese das Klitometer, dessen Indexstrich mit dem Nullpunkt der Theilung coincidiert und bringe die Luftblase zum Einspielen. Setzt man nun den Apparat so um, dafs seine Füfse an die entgegengesetzten Stellen der Geraden kommen und hat dabei die Luftblase ihren Stand nicht geändert, so ist sowohl die erwähnte Gerade horizontal, als auch die Libelle berichtigt. Eine sich etwa zeigende Abweichung dagegen wird zur Hälfte an der Stellschraube des Mefstisches, zur anderen Hälfte an den Correctionsschrauben der Libelle zu berichtigen und diefs Verfahren mehrere Male zu wiederholen sein.

In Ermangelung eines Mefstisches wird man sich eines richtig construierten Richtscheites zu bedienen haben.

§. 390.

Der Gebrauch des Klitometers wird sich wie der der gemeinen Setzwage weniger auf die Bestimmung des Gefälles zweier Punkte auf dem Felde, als vorzugsweise auf die Herstellung einer horizontalen Unterlage eines Bau- oder Maschinentheils u. s. w. oder auf die Bestimmung des Neigungswinkels desselben gegen den Horizont erstrecken, in welchem letzteren Falle nur die Alhidade des berichtigten Klitometers so weit zu drehen ist, dafs die Luftblase der Libelle einspielt. Alsdann kann man. durch Hülfe des Verniers den Neigungswinkel sogleich bestimmen.

Anmerkung. Zu dieser Classe der Nivellierinstrumente gehört auch die Wall- oder Trancheewage, die Picard'sche und Hugeni'sche Wafserwage, die Pendelwage, die Rothische Bergwage, die Ditmar'sche und Falter'sche Libellensetzwage u. a. a., deren Beschreibung aber deshalb hier unterbleiben kann, da die ersteren in der Anwendung längst durch die im Vorhergehenden angegebenen Instrumente ersetzt, die zuletzt erwähnten Libellensetzwagen aber zunächst für Bauhandwerker bestimmt sind. Man findet Beschreibungen dieser Instrumente u. a. in J. Tob. Mayer's prakt. Geom. III., in Crelle's Handbuch des Feldmefsens und Nivellierens, Berlin 1826, in des Verf. Lehrbuch der prakt. Geometrie, Hannover 1848 und in Bauernfeind's Elementen der Vermefsungskunde, 2. Aufl., München 1862.

D. Das Barometer zu Höhenmefsungen.

§. 391.

Die Anwendung des Barometers zu Höhenmefsungen stützt sich bekanntlich auf das aërostatische Gesetz, dafs wenn in einer ruhigen Luftsäule von einerlei Temperatur die Höhen in einer arithmetischen Reihe wachsen, der Druck der Luft, also auch die Dichtigkeit derselben und die Barometerhöhe in einer geometrischen Reihe abnimmt. Sind also in einer solchen Luftsäule am unteren und oberen Ende die Barometerstände beziehungsweise $= B$ und b beobachtet und denkt man sich diese Säule in solche Schichten von gleicher Höhe getheilt, dafs ohne Fehler die Dichtigkeit in jeder derselben als constant und nur von Schicht zu Schicht sich ändernd angenommen werden kann, so würden durch B und b die Endglieder einer geometrischen Reihe dargestellt, deren Exponent $= \frac{1}{m}$ sein mag. Es sind daher die Barometerstände in den von Unten nach Oben auf einander folgenden Luftschichten

$$B\left(\frac{1}{m}\right)^0, \quad B\left(\frac{1}{m}\right)^1, \quad B\left(\frac{1}{m}\right)^2 \ldots,$$

in der obersten oder $x$ten Schicht darüber

$$B\left(\frac{1}{m}\right)^x = b,$$

woraus dann

$$x = \frac{\log B - \log b}{\log m},$$

oder, wenn $\frac{1}{\log m} = M$ gesetzt wird,

$$x = M (\log B - \log b)$$

folgt, so dafs also, wenn der s. g. barometrische Coefficient M entweder bekannt ist, oder sich bestimmen läfst, die Möglichkeit der Höhenmefsung durch das Barometer dargethan ist.

Es mufs indessen noch bemerkt werden, dafs die vorhin angenommene Voraussetzung, dafs die zu mefsende Luftsäule in ihrer ganzen Ausdehnung eine gleiche Temperatur besitze, in der Wirklichkeit nicht zuläfsig ist; da nun aufserdem die in der Atmosphäre befindlichen Wafserdünste, wegen ihrer gröfseren Leichtigkeit, einen veränderten Stand des Barometers verursachen werden, ferner die Schwerkraft beim Aufsteigen in der Atmosphäre sich mindert u. s. w., so wird die obige Formel erst mehrfache Umänderungen erfordern, um die zu bestimmende Höhe mit möglichster Genauigkeit zu erhalten.

§. 392.

Bei den zum Höhenmefsen angewandten Barometern kommt es darauf an, dafs sie bequem, besonders aber ohne Schaden von einem Punkte zum anderen

transportiert werden können. Die Quecksilbersäule mufs während des Transports zwar so abgeschlofsen werden, dafs weder ein Theil des Quecksilbers sich verschüttet, noch bei den unvermeidlichen Bewegungen gegen die Glasröhre schlagen und dieselbe zersprengen kann; da aber bei zunehmender Temperatur das Quecksilber sich mehr ausdehnt, als das Glas, so mufs an dem abgeschlofsenen Ende so ein elastischer fester Körper angebracht werden, der durch eine beträchtlichere Ausdehnung des Quecksilbers als des Glases dem ausgedehnten Quecksilber nicht widerstrebt; zugleich darf aber zu diesem Körper nicht Luft genommen werden, da diese sonst in das Quecksilber dringen und das Barometer ganz unbrauchbar machen würde.

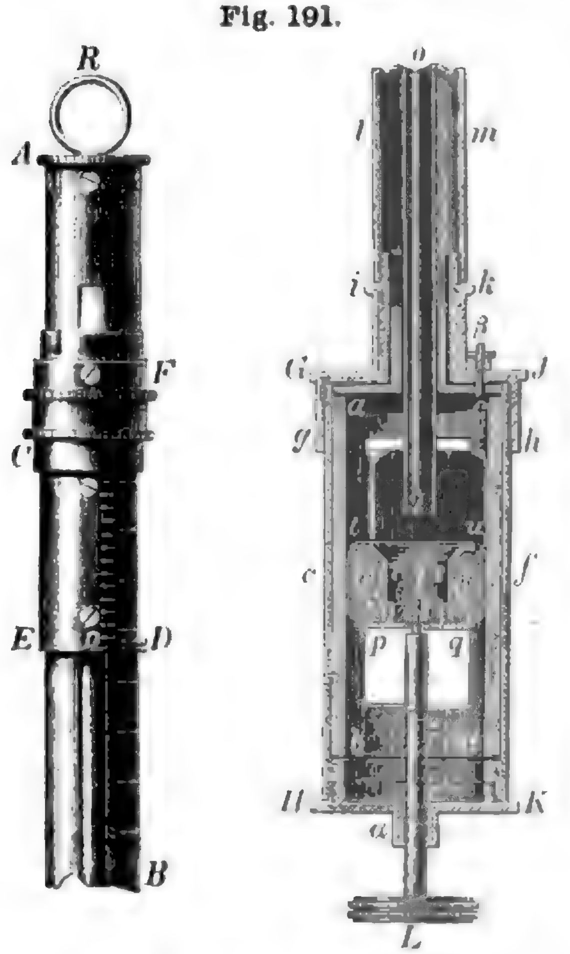
Man wendet zu den Barometern sowohl Gefäfs- als Heberbarometer an und sind zu deren Verfertigung, von den Zeiten de Luc's an, von Physikern und Mechanikern eine Menge von Vorschlägen gemacht, die mehr oder weniger bequem und praktisch sind.

§. 393.

1. Das Horner'sche Gefäfs-Reisebarometer.

In Fig. 191. ist ein von Horner *) angegebenes Gefäfs-Reisebarometer in halber wahrer Gröfse dargestellt, das im Wesentlichen mit dem Fortin'schen übereinstimmt, hinsichtlich des sicheren Abschlufses des Quecksilbers aber einen Vorzug vor dem letzteren verdient.

Fig. 191.



Die Barometerröhre findet sich in einem hohlen, mit Leder ausgefütterten Messingcylinder, dessen oberes Ende *A B* zur genauen Beobachtung des Quecksilberstandes in einer Höhe von 14 bis 29 Zoll vorn und hinten durchschnitten ist. Die den Vernier tragende Hülse *C D E* kann mittelst der starkreibenden Mutter *F* längs der Fafsungsröhre so verschoben werden, dafs ihr unterer Rand *D E* als Berührungslinie der Quecksilberkuppe erscheint. Eine seitliche Drehung der Hülse wird durch einen im Innern derselben angebrachten Messingstreifen verhindert. Der bequemeren Ablesung wegen liegt der Indexstrich des Verniers einige Linien oberhalb des Randes *D E*, worauf aber

*) Gehler's physikalisches Wörterbuch, neue Bearbeitung. I. 784.

selbstverständlich bei der Bestimmung des Anfangspunktes der Barometerscale Rücksicht genommen ist.

Das cylindrische Gefäfs *G H J K* für das Quecksilber, in der Zeichnung im Durchschnitt dargestellt, ist aus verschiedenen Stücken zusammengesetzt. Den inneren Theil bildet ein an den Rändern genau eben geschliffener Glasring *a b c d*, den äufseren ein ihn umgebender Messingring *e f*, dessen einwärts springende Ringfläche, durch die untergeschraubte mit einem Halse α versehene Fufsplatte *H K* gegen den unteren Rand des Glases gedrückt wird. Auf den oberen Rand der Glasröhre kommt durch einen untergelegten Lederring luftdicht eine, ebenfalls mit einem Halse versehene Deckplatte *a c* von Stahl zu liegen, indem der obere Theil des Messingcylinders *e f* in das aus zwei hohlen Cylindern und einer durchbohrten Platte bestehende Bodenstück *i k G J g h*, und letzteres in die Fafsungsröhre *l m* eingeschraubt wird. In den Hals der stählernen Deckplatte *a c* ist die Barometerröhre *n o* luftdicht eingekittet, so wie die in das Gewinde des Halses α tretende Elevationsschraube *L* die eiserne Fufsplatte *p q* für den Abschlufsstöpsel trägt und durch eine aufgeschraubte Mutter an derselben festgehalten wird.

Der Abschlufsstöpsel ist wieder aus verschiedenen Stücken zusammengesetzt. Den inneren Theil bildet ein nach Oben zu einem hohlen Konus sich erweiternder hohler Cylinder *r s*, dessen unterer innerer Rand auf den oberen Hals der Fufsplatte *p q* geschraubt wird. Die obere Grundebene des Konus wird von einer hinreichend starken elastischen Lederplatte *t u* bedeckt und an dem nach Aufsen umgebogenen Rande des Konus festgebunden. Zwischen die innere Glasfläche und die Mäntel des Cylinderkonus *r s* legt sich ein Korkcylinder *v w*, der wieder, so wie die Lederplatte *t u* von einem Stück Taffent so umhüllt wird, dafs die Enden desselben mittelst einer Mefserspitze zwischen den inneren Mantel des Korks und den äufseren des Cylinders *r s* geschoben werden können, wodurch zugleich die Reibung des Korks in dem Glascylinder vermindert wird.

Nahe am Rande ist sowohl die Stahlplatte *a c*, als die Deckplatte *G J* konisch durchbohrt, um ein kleines, in ein Schraubengewinde endendes konisches Ventil aufzunehmen, welches durch die Lüftung einer Mutter β etwas niedergelafsen werden kann, um die äufsere atmosphärische Luft auf das Quecksilber treten zu lafsen.

Da, wo die Fafsungsröhre *l m* auf dem Cylinder *i k* des Bodenstücks befestigt ist, ist erstere zur Aufnahme eines Thermometers ausgeschnitten. Die Kugel desselben liegt unmittelbar auf der Barometerröhre, so dafs an ihm die Temperatur des Quecksilbers abgelesen werden kann.

Zur Beobachtung des Quecksilberstandes in dem Gefäfse hat auch der Fafsungscylinder einen beiderseitigen Ausschnitt und es dient dann der untere scharfe Rand *g h* als Anfangspunkt der Barometerscale. Endlich wird zum Aufhängen des Barometers an dem oberen Ende der Fafsungsröhre ein Deckelstück

mittelst Schräubchen befestigt, in welchem sich der Ring *R* an einer Innen festgeschraubten Platte drehen läfst.

§. 394.

Soll das Barometer transportirt werden, so schliesst man zunächst das Ventil durch Anziehen der Mutter β, neigt das Barometer so weit, dafs das Quecksilber an das obere verschlofsene Ende der Barometerröhre schlägt und schraubt mittelst der Elevationsschraube *L* den Stöpsel so weit aufwärts, dafs das Quecksilber nicht in Bewegung gerathen kann. Darauf bringt man das Barometer in einen dazu gehörigen hohlen Stock, den man in ein mit einem Tragriemen versehenes Lederfutteral steckt. Letzteres nimmt auch noch das zur Beobachtung der Lufttemperatur erforderliche Thermometer auf. Gegen die Zusammenziehung des Quecksilbers durch niedrigere, und die Ausdehnung desselben durch höhere Temperaturverschiedenheiten schützt die Elasticität des Lederdeckels *tu*. Selbst das durch ihn etwa hindurchsickernde Quecksilber wird sich im Innern des Cylinders *r s* sammeln und kann aus diesem dann leicht entfernt werden. Noch ist zu bemerken, dafs in dem Gefäfse stets so viel Quecksilber vorhanden sein mufs, dafs die Ledertrommel noch 1 bis 2 Linien unter dem offenen Ende der Barometerröhre bleibt.

§. 395.

Fortin giebt seinen Barometern noch das zuerst von Englefield angegebene und von ihm verbefserte Stativ bei, welches in Fig. 192. im Wesentlichen dargestellt ist. Beim Zusammenlegen desselben passt das Barometer in die mit Tuch ausgefütterten Vertiefungen, so dafs alsdann das Ganze einen an einer Stelle verdickten Cylinder darstellt, welcher in dem tragbaren Lederfutteral Platz findet. Zur Sicherung des festen Standes des Stativs werden die Füfse durch drei eingehängte Dräthe *a a a* mit einander verbunden.

Die Aufhängung des Barometers in dem Stativ kann eine verschiedene sein. Entweder entspricht sie der in Fig. 91. dargestellten, wobei die Fafsungsröhre des Barometers etwa in Zweidrittheilen seiner Höhe noch von einer zwei Zapfen tragenden Büchse umgeben wird und wodurch die Beobachtung an Bequemlichkeit gewinnt; oder es dient der vorstehende Rand *A* (Fig. 191.) zur Aufhängung, indem unter denselben, vor der Verbindung mit dem Stativ, ein Ring mit drei Spitzen gelegt wird, welche sich auf die Oberfläche des Stativkopfs legen, während der Rand *A* auf den innern Rand des Ringes zu liegen kommt.

§. 396.

2. Das Meyerstein'sche Heber-Reisebarometer.

In Fig. 193. ist die vordere Ansicht dieses Barometers im Drittel wahrer Gröfse dargestellt, während Fig. 194. im Durchschnitt das eiserne Gefäfs desselben nebst den unteren Enden der communicirenden Röhren in wahrer Gröfse zeigt.

Fig. 192.



Das Gefäfs $ABCD$ (Fig. 194.) nimmt in seinem oberen Theile die beiden Barometerröhren EF und GH auf, welche mittelst der Durchbohrung J mit einander communicieren; der untere cylindrisch ausgebohrte Theil KL dient zur Aufnahme des Quecksilbers bis zu einem nach Innen vorspringenden ringförmigen Rande αL, gegen welchen die unter ihm liegende Kautschukscheibe β durch den Hals des eingeschraubten Fufsstücks M gepresst wird. Die Kautschukscheibe bildet demnach die Basis des Gefäfses, gestattet aber zugleich beim Abschliefsen des Quecksilbers vermöge ihrer Elasticität die Ausdehnung und Zusammenziehung des letzteren. Mittelst der Durchbohrung des Hahns N können die beiden Heberröhren EF und GH mit einander in Communication gesetzt, aber auch abgeschlofsen werden, wenn durch den auf den vortretenden parallelepipedischen Zapfen γ gesetzten Schlüfsel O dem Hahn eine Drehung um 90^0 ertheilt ist. Zur Aufbewahrung des Schlüfsels wird derselbe in das in M eingeschnittene Gewinde geschraubt.

Fig. 193.

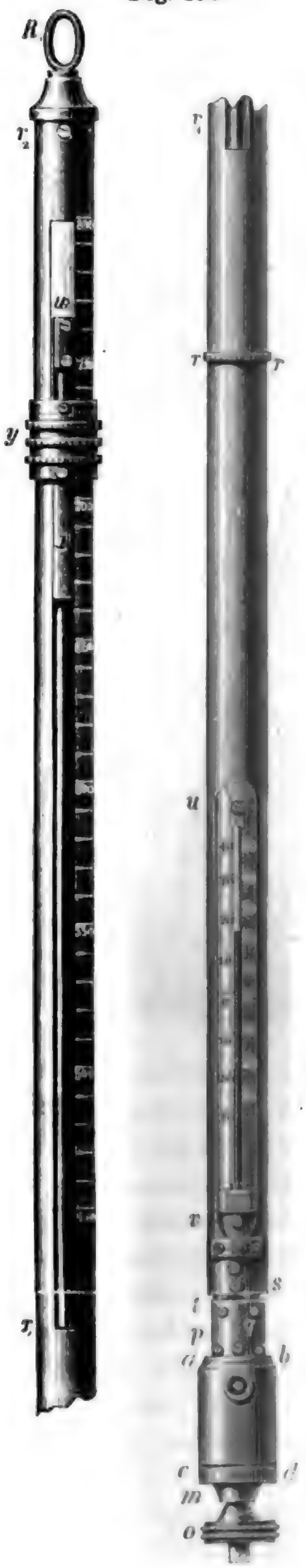


Fig. 194.



Beide Glasröhren werden von einer Unten aufgeschnittenen, auf den Hals des eisernen Gefäfses durch Schrauben befestigten messingenen Fafsungsröhre PQ umgeben, über welcher wieder mittelst eines Getriebes nebst Zahnstange die äufsere, die Barometerscale enthaltende Fafsungsröhre RST beweglich ist, um den unteren Rand TS mit der in dem kurzen Schenkel durch den Schlitz zu beobachtenden Quecksilberkuppe zur Berührung zu bringen, so dafs demnach TS den Nullpunkt der Barometerscale bezeichnet. Zum Einstellen dient wieder der erwähnte Schlüfsel O, dessen oberes Ende auf den vorspringenden parallelepipedischen Zapfen δ gesetzt wird. Das offene Ende des kürzeren Schenkels GH wird mittelst eines Korkcylinders geschlofsen, während durch das ihn durchdringende Haarröhrchen die atmosphärische Luft einzudringen vermag.

In Fig. 193. sind die erwähnten Theile mit denselben, aber dem kleinen Alphabet angehörigen Buchstaben bezeichnet. An dem unteren Ende der äufseren Fafsungsröhre $r_2 r_1 t s$ befindet sich das zur Beobachtung der Temperatur des Quecksilbers erforderliche Thermometer uv mit der Réaumur'schen und Centesimal-Scale, dessen Kugel die Barometerröhre unmittelbar berührt. An dem oberen Ende der Fafsungsröhre ist die mit dem Vernier w durch eingelegte Messingstreifen x verbundene Hülse y auf und ab verschiebbar, um den unteren Rand der Vernierplatte mit der Kuppe des Quecksilbers zur Berührung bringen zu können. Zum Aufhängen des Barometers beim Beobachten endlich dient der Ring R_1, dessen cylindrischer Fufs an der Fafsungsröhre mittelst Schrauben befestigt ist.

§. 397.

Soll das Barometer transportiert werden, so neigt man dasselbe wieder so weit, dafs das Quecksilber an das obere verschlofsene Ende der Barometerröhre schlägt; dadurch dringt das in der kürzeren Röhre vorhandene Quecksilber durch die Hahnöffnung in den hohlen Raum KL (Fig. 194.) des Eisengefäfses. Setzt man nun das stärkere Ende des Schlüfsels O auf den erwähnten vortretenden parallelepipedischen Zapfen des Abschlufshahns und dreht letzteren um 90^0, so ist die Communication beider Glasröhren aufgehoben. Nun kehrt man, nachdem man den Schlüfsel von dem Zapfen entfernt und wieder in die in der Zeichnung dargestellte Lage gebracht hat, das Barometer um, um dasselbe in das mit einem Tragriemen versehene Lederfutteral zu stecken.

Anmerkung. Das Gay-Lussac'sche Reisebarometer findet sich beschrieben u. a. in Bauernfeind's Vermefsungskunde. 2. Aufl. S. 348.

Die Prüfung und der Gebrauch des Barometers.

§. 398.

Die erste Prüfung besteht in der Untersuchung, ob das s. g. Toricelli'sche Vacuum wirklich einen luftleeren Raum darstellt. Neigt man das Barometer so

weit, dafs das Quecksilber in der Barometerröhre an das verschlofsene Ende derselben schlägt und zeigt sich dann über dem Quecksilber keine Luftblase, so ist der Toricelli'sche Raum luftleer und das Barometer insofern brauchbar. Man wird zu der Ausführung dieser Untersuchung meistens die den Ring tragende Kappe der Fafsungsröhre abschrauben müfsen, nach der Untersuchung aber wieder zu befestigen haben.

Nach längerem Gebrauche werden aber selbst die besten Barometer etwas Luft gefangen haben, in welchem Falle das Quecksilber aufs Neue auszukochen ist.

Die richtige Eintheilung der Scale kann nur mittelst einer guten Längen-Theilmaschine erkannt werden.

Nach diesen Untersuchungen wird vor dem Gebrauch der Barometer ihre Vergleichung mit einem s. g. Normal-Barometer, das gewöhnlich auf den Sternwarten sich findet, erforderlich und die dabei sich ergebende geringe Verschiedenheit bei den späteren Beobachtungen in Rechnung gebracht. Da aber schon durch den Transport der Instrumente und auch durch den Gebrauch selbst kleine Veränderungen eintreten werden, so wird eine solche Vergleichung wenigstens nach der Vollendung der Mefsungen nochmals vorgenommen werden müfsen.

Soll nun mit dem Horner'schen Reisebarometer beobachtet werden, so bringt man dasselbe unter den schon vorher aufgestellten Schirm, um es vor den Sonnenstrahlen und vor dem Winde zu schützen, lüftet mittelst der Schraube L (Fig. 191.) den Verschlufsstöpsel um ein Weniges, hängt dasselbe in etwas schräger Richtung auf, bringt es allmälig in eine verticale Lage und schraubt den Stöpsel so weit zurück, bis das Quecksilber in dem Gefäfse unterhalb des Randes gh sichtbar wird. Dann öffnet man das Ventil durch die Mutter β und schraubt den Stöpsel so weit aufwärts, dafs die Kante gh die Kuppe des Quecksilbers genau berührt. Darauf bestimmt man die Temperatur des Quecksilbers an dem Thermometer, verschiebt die Hülse CED, bis die untere Kante ED ebenfalls die Kuppe des Quecksilbers in der Barometerröhre tangiert und liest, nachdem das Barometer noch einige Zeit frei gehangen, zur verabredeten Zeit am Vernier den Barometerstand ab. Zur Erlangung einer gröfseren Genauigkeit wiederholt man die Ablesungen in Zwischenräumen von etwa 5 Minuten einige Male und nimmt von ihnen das arithmetische Mittel.

Nachdem das Meyerstein'sche Barometer ebenfalls in etwas geneigter Lage so aufgehangen ist, dafs der kurze Schenkel der Barometerröhre oberhalb des längeren zu liegen kommt, steckt man das dickere Ende ε des Schlüfsels O (Fig. 194.) auf den Zapfen γ und öffnet, unter leisem Anklopfen an das Barometer, durch eine Viertelumdrehung des Schlüfsels den Hahn, wodurch das Quecksilber aus dem Gefäfs in den kürzeren Schenkel tritt und bringt nun das Barometer in die verticale Lage. Dann steckt man das dünnere Ende des Schlüfsels O auf den Zapfen δ und bringt den Rand ts oder TS (Fig. 193. u. 194.) wieder mit der Kuppe des Quecksilbers im kurzen Schenkel zur Berührung, nachdem schon

vorher wieder die Temperatur des Quecksilbers an dem Thermometer *uv* abgelesen ist. Durch Verschiebung der Hülse *y* stellt man auch den unteren Rand des Verniers *w* auf die Kuppe des Quecksilbers in dem längeren Schenkel ein und liest dann den Barometerstand, gleichzeitig aber noch an dem im Schatten aufgegangenen Thermometer auch die Temperatur der Luft ab.

§. 399.

Der nach dem vorigen Paragraphen erhaltene Barometerstand bedarf aber, vor dem Gebrauch desselben zur Berechnung der zu bestimmenden Höhe, noch mehrfacher Correctionen.

1. Die erste derselben betrifft den Einfluſs der Capillardepression. Da diese unter übrigens gleichen Umständen dem Durchmeſser der Röhre umgekehrt proportional ist, so wird sie bei den Gefäſsbarometern wegen der sehr verschiedenen Durchmeſser des Gefäſses und der Glasröhre eine sehr ungleiche Wirkung äuſsern. Weil die Depression aber bei Röhren, welche über 9 Linien weit sind, verschwindet, so ist dieselbe nur bei der Ablesung des Barometerstandes in der Glasröhre zu berücksichtigen. Bei den Heberbarometern dagegen darf die Depression in den beiden Schenkeln selbst dann nicht als gleich angenommen werden, wenn auch die Durchmeſser derselben einander gleich sind, weil die Convexität des Quecksilbers in dem längeren und kürzeren Schenkel deshalb sehr verschieden ist, da in dem ersteren über dem Quecksilber ein luftleerer Raum, das Quecksilber des letzteren aber mit der äuſseren atmosphärischen Luft in Verbindung steht. Die einzige Art, die Capillardepression genau zu bestimmen, besteht in der genauen Bestimmung der Höhe der Kuppe des Quecksilbers und lässt sich nach der folgenden Tabelle *), welche nach Laplace's Formel von Schleiermacher und Eckhart berechnet ist, leicht ermitteln. Bezeichnet *a* die Höhe der Kuppe und *b* die Weite der Röhre in Millimetern, so ist für die in horizontaler Linie stehenden Werthe von *a* und die verticalen von *b* die Depression in Millimetern:

b =	a =										
	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
0,5	4,975	8,912	12,560	12,616	—	—	—	—	—	—	—
1	1,262	4,450	4,377	5,581	6,098	6,171	—	—	—	—	—
2	0,299	0,595	1,152	1,643	2,037	2,338	2,541	2,658	2,681	2,699	2,712
3	0,121	0,242	0,476	0,695	0,839	1,066	1,206	1,316	1,397	1,449	1,473
4	0,068	0,120	0,240	0,354	0,460	0,546	0,530	0,702	0,758	0,805	0,838
5	0,034	0,069	0,138	0,205	0,247	0,299	0,308	0,390	0,428	0,468	0,476

*) Gehler's physikalisches Wörterbuch. Neue Aufl. 1. S. 909.

War also bei einem am Heberbarometer abgelesenen Barometerstande von $750^{mm},60$ die Höhe der Kuppe im langen Schenkel 0,4, im kurzen 1,0 und die Weite beider 5 Millimeter, so beträgt die Capillar-Depression im langen Schenkel 0,138, im kurzen 0,299, also der verbefserte Barometerstand $750^{mm},44$.

2. Die zweite Correction des Barometerstandes betrifft die Veränderung, welche die Barometerscale selbst durch die Temperaturverschiedenheit gegen die s. g. Normaltemperatur, für welche die Scale entworfen ist und die bei der Eintheilung nach dem französischen Zollmafse $= 13^0$ R. oder $16,25^0$ C., nach dem Metermafse aber 0^0 beträgt, erleidet. Bezeichnet man den Ausdehnungscoefficienten des Stoffs, auf welchem die Scale sich findet, für 1^0 C $= k$, so ist die Länge b der Scale für den Temperaturunterschied von $u^0 = k.u.b$. Wird demnach die Normaltemperatur durch τ^0 bezeichnet, so wird der auf die Temperatur des Mafsstabes reducierte Barometerstand

$$b^1 = b + k\,(t - \tau)\,b$$

sein. Ist $t > \tau$, so ist $b^1 > b$, ist aber $t < \tau$, so ist $b^1 < b$.

Da nun nach Schubarth's Sammlung physikalischer Tabellen, Berlin 1841, S. 101., für Messing $k = 0{,}000018$ und für Glas $= 0{,}000009$ ist, so ist hiernach b^1 leicht zu bestimmen. In den meisten Fällen beträgt die Reduction aber so wenig, dafs sie gewöhnlich zu vernachläfsigen ist.

Soll eine Höhenbestimmung aber richtige Resultate liefern, so müfsen nicht allein die Beobachtungen an den beiden Stationen gleichzeitig, sondern auch mit genau correspondierenden Barometern gemacht werden. Als die geeignetste Tageszeit zu den Beobachtungen ist im Allgemeinen 9 Uhr Morgens und 4 Uhr Nachmittags angenommen, weil zu diesen Zeiten die Unregelmäfsigkeiten in der Lufttemperatur am unbedeutendsten sind. Aufserdem ist stürmisches oder stark windiges und regnerisches Wetter zu vermeiden, und womöglich ruhige Luft mit umwölktem Himmel zu benutzen. Da ferner in gröfseren Horizontalabständen die Barometerstände, wegen ungleicher Höhe der drückenden Luftsäulen, sehr häufig verschieden sich zeigen, so dürfen die Beobachtungen auch nicht zwischen weit entfernten Stationen vorgenommen werden. Als gröfsten Abstand nimmt man in dieser Hinsicht etwa zwei deutsche Meilen an.

Ueber die Berechnung der Höhenunterschiede und ihre Genauigkeit vergl. man Bauernfeind's Elemente der Vermefsungskunde, 2. Aufl., S. 644. u. f.

ZWEITES CAPITEL.

Theorie, Beschreibung und Gebrauch der Reflexionswerkzeuge.

§. 400.

Es ist schon im §. 116. erwähnt, dafs die Reflexions- oder Spiegelwerkzeuge ihrer Natur und Construction nach keiner festen Unterlage bedürfen, daher vorzugsweise von dem Nautiker zu der Bestimmung der Lage der Oerter auf dem Meere, durch Mefsung der Höhe der Gestirne oder der Monddistanzen angewandt werden. Ebensowohl können sie aber auch dem Geodäten bei der Mefsung von Winkeln, welche terrestrische Objecte mit einander bilden, dann mit Vortheil dienen, wenn den im ersten Capitel beschriebenen Azimuthalinstrumenten durch ein Stativ keine feste Unterlage gegeben werden kann. Da aber in diesem Falle nicht unmittelbar der geforderte Horizontalwinkel, sondern nur der von den Schenkeln gebildete schiefliegende Naturwinkel gemefsen werden kann, so mufs zur Reduction desselben auf den Horizontalwinkel, von jedem seiner Schenkel noch der Elevations- oder Depressionswinkel bestimmt werden, was indessen nur durch Zuziehung eines künstlichen Horizonts möglich ist. In dieser Beziehung ist daher für den praktischen Geometer der Gebrauch der Spiegelinstrumente bei den terrestrischen Winkelmefsungen nur ein beschränkter zu nennen, wenngleich durch die Substituirung des einen oder beider Spiegel durch Glasprismen die mit der Gröfse der Winkel zunehmende Undeutlichkeit des zweifach reflectierten Bildes fast ganz zu beseitigen ist. Den ausgedehntesten Gebrauch gestattet durch die Anwendung eines leicht transportabelen Metallstativs jedenfalls der Steinheil'sche Prismenkreis, der dann insbesondere dem reisenden Geometer zur Zeit- und Ortsbestimmung bei grofser Genauigkeit viel Bequemlichkeit gewährt.

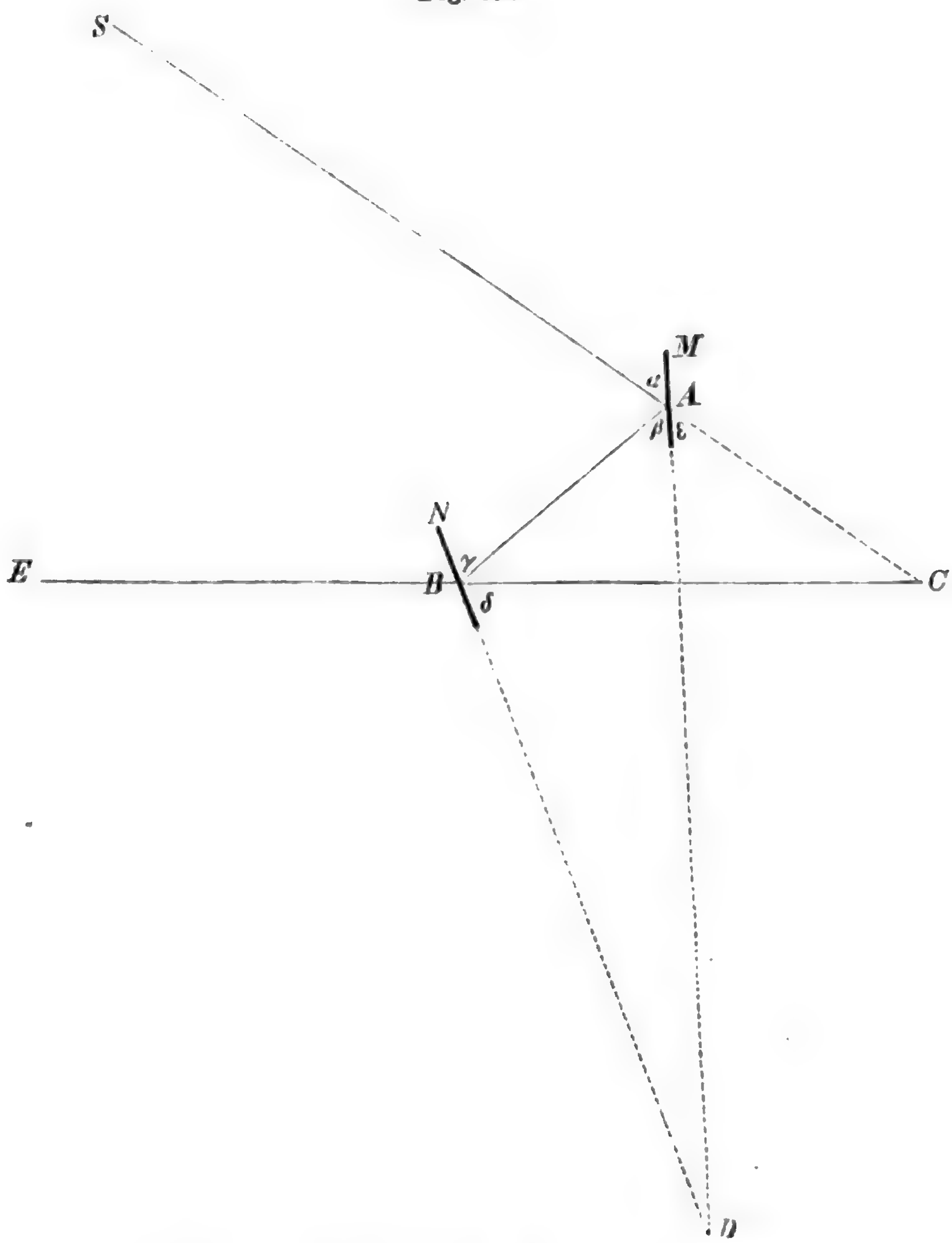
A. Reflexionsinstrumente mit Spiegeln.

§. 401.

Die Construction und der Gebrauch der Reflexionswerkzeuge, welche nur ebene Spiegel enthalten, beruht auf folgenden Sätzen der Katoptrik:

1. Wenn ein Lichtstrahl SA (Fig. 195.) auf einen Spiegel M fällt und von diesem auf einen zweiten Spiegel N in einer zu den Spiegeln normalen Ebene AB reflectiert wird, so ist der Winkel, welchen der in der erwähnten Ebene von dem zweiten Spiegel reflectierte Strahl BC mit dem Einfallsstrahle SA in C bildet, doppelt so grofs, als der Winkel BDA, in dessen Schenkel die beiden Spiegel liegen.

Fig. 195.



Denn nach den Gesetzen der Spiegelung ist

$$\alpha = \beta + \varepsilon \text{ und } \gamma = \delta;$$

da aber $\gamma = \beta + D$

also $D = \gamma - \beta = \delta - \varepsilon$

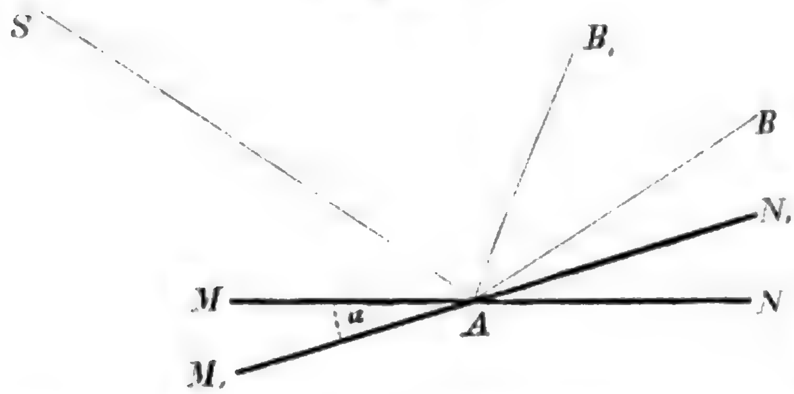
und ferner $D + \delta = C + \varepsilon$ ist,

so ist $C = 2\,D.$

Denkt man sich also in irgend einem Punkte der Linie *BC* das Auge, so sieht diefs den Punkt oder ein Object *S* in der Richtung *EBC*. Hat demnach der

Spiegel N eine solche Stellung gegen das Auge, dafs diefs über dem Spiegel weg ein zweites Object E wahrnimmt, welches mit dem optischen Bilde von S coincidiert, so ist der Winkel, den die beiden Objecte mit dem Standorte C einschliessen, doppelt so grofs, als der Winkel D der beiden Spiegel, der auf einem eingetheilten Kreise abgelesen werden könnte.

Fig. 196.



2. Wenn ein Spiegel MN (Fig. 196.), auf welchen ein Lichtstrahl SA unter einem beliebigen Winkel fällt, um einen bestimmten Winkel $MAM_1 = \alpha$ so gedreht wird, dafs die Drehungsachse normal auf der Einfallsebene steht, so ist der Winkel, den die reflectierten Strahlen BA und B_1A vor und nach der Drehung mit einander bilden, $= 2\alpha$.

Denn
$$\begin{aligned} B_1AB &= B_1AN_1 - BAN_1, \\ &= B_1AN_1 - (BAN - \alpha), \\ &= B_1AN_1 - BAN + \alpha, \\ &= SAM_1 - SAM + \alpha = 2\alpha. \end{aligned}$$

Wenn daher umgekehrt, BA und B_1A zwei verschiedene auf einen Spiegel fallende Lichtstrahlen sind und beide nach einerlei Richtung AS reflectiert werden sollen, so mufs der Spiegel, um eine normal auf der Einfallsebene stehende Achse, um den halben Winkel gedreht werden, welchen die beiden Einfallsstrahlen mit einander einschliefsen.

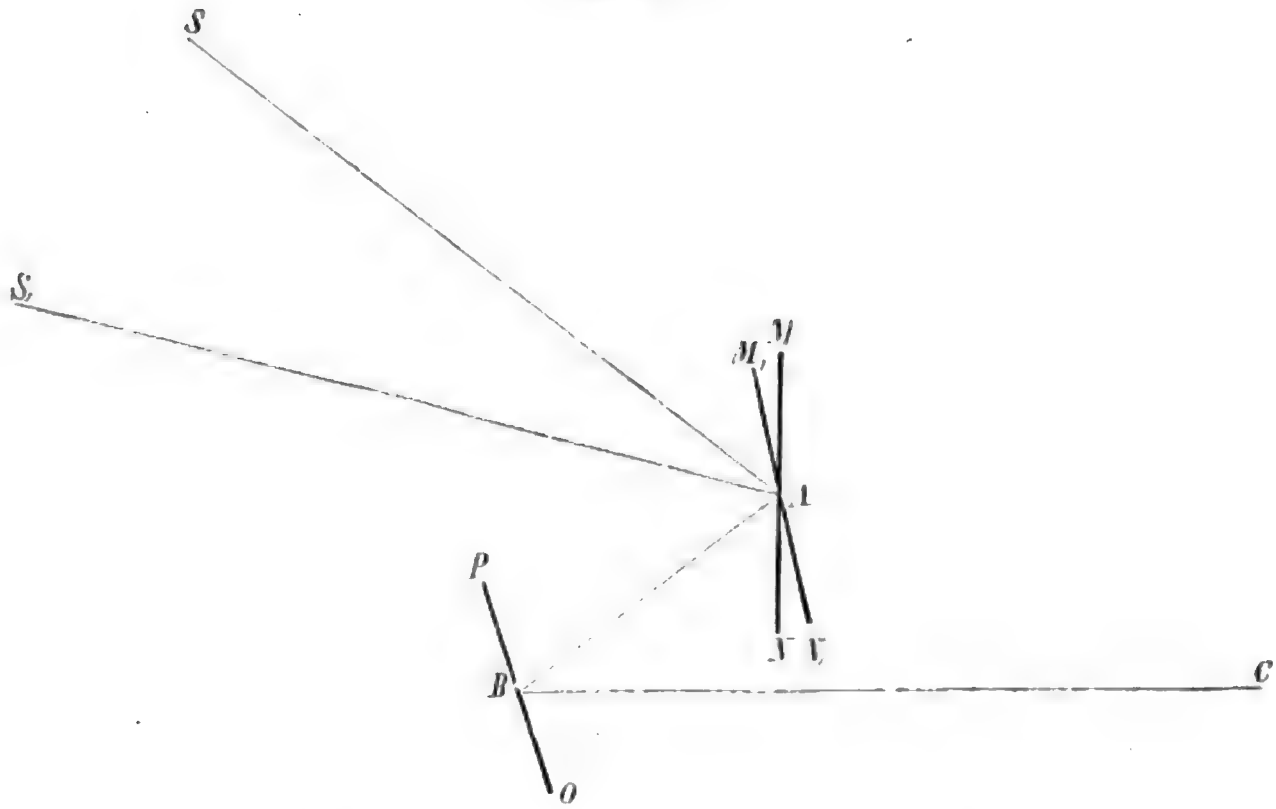
3. Ist demnach in Fig. 197. SA ein auf einen Spiegel MN fallender Lichtstrahl, der in der Richtung AB auf einen zweiten Spiegel PO und von diesem in der Richtung BC reflectiert wird und man nun den Spiegel MN um einen bestimmten Winkel $M_1AM = \alpha$ dreht, so wird ein zweiter in derselben Einfallsebene liegender Einfallsstrahl S_1A mit SA einen Winkel $S_1AS = 2\alpha$ bilden, damit der von dem gedrehten Spiegel zum zweiten Male reflectierte Strahl mit der Richtung BC zusammenfällt.

§. 402.

1. Der Spiegelsextant.

Die eigentliche Erfindung der Spiegelwerkzeuge verdanken wir Newton, als es darauf ankam, zu den Längenbestimmungen der Seeörter durch die Mefsung der Monddistanzen auf dem schwankenden Schiffe Winkelmefser zu besitzen. Seine

Fig. 197.



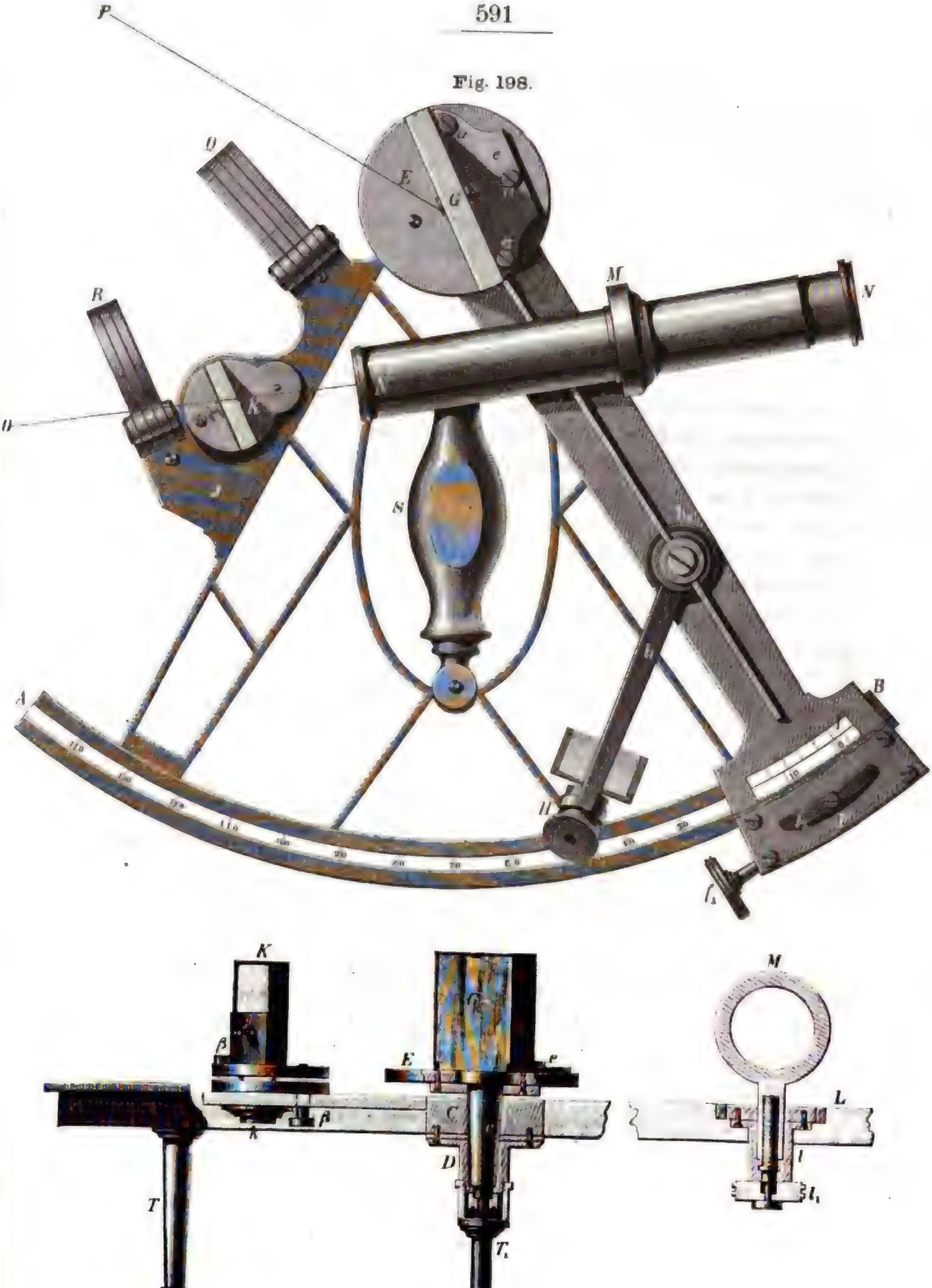
Erfindung theilte er 1700 Hadley mit, wodurch dieselbe aber zufällig unbekannt blieb; erst nach Hadley's Tode zeigten die hinterlafsenen Schriften, dafs Newton die erste Idee dazu ausgesprochen habe. Indessen legte Hadley der Londoner Societät die erste Beschreibung der nach ihm benannten Sextanten 1731 zuerst vor, weshalb auch letzterer gewöhnlich als der erste Erfinder angesehen wird *).

Der in Fig. 198. in halber wahrer Gröfse theils in vorderer Ansicht, theils in Durchschnitten dargestellte Spiegelsextant ist nach Troughton'scher Einrichtung vom verstorbenen Hohnbaum in Hannover angefertigt. Der eine Haupttheil desselben ist ein eingetheilter Bogen AB von sechzig und einigen Graden Länge, dessen silberner Limbus in 120 halbe Grade getheilt ist, die aber nach dem vorigen Paragraphen für ganze gelten. Jeder der Grade ist weiter von 5 zu 5 Minuten getheilt.

Der Bogen ist mit der im Mittelpunkte befindlichen durchbohrten Scheibe C durch Speichen, schmale Stäbe und Querstäbe auf die möglichst leichteste, aber doch die gehörige Festigkeit gewährende Art verbunden. An der Scheibe ist unter der Sextantenebene eine Hülse D befestigt, welche, so wie die Scheibe C, den konischen Stahlzapfen c der Alhidade EF aufnimmt. In dem Mittelpunkte des Sextanten erweitert sich die Alhidade zu einer Scheibe E, in welche der erwähnte Zapfen gelöthet und auf der die Fufsplatte e des grofsen oder Zeigerspiegels G durch drei Schrauben befestigt, letzterer also mit der Alhidade be-

*) Gehler's physikalisches Wörterbuch. Neue Ausg. VI. 26. und VIII. 781.

Fig. 198.



weglich ist. An dem anderen Ende der Alhidade ist die Vernierplatte *f*, so wie die Vorrichtung zur Hemmung der groben und mikrometrischen Bewegung derselben angebracht. Zu der letzteren dient die Mikrometerschraube f_1, so wie hinter der Platte *F* die in der Zeichnung nicht sichtbare Klemmschraube und Halterplatte sich findet. Durch die auf der Platte *F* liegende plattenförmige Druckfeder f_2 wird die schleifende Bewegung der Platte auf dem Bogen *AB* vermindert. Zum genauen Ablesen der Theilung dient die Loupe *H*, deren Halter *h* an einer auf der Alhidade befestigten Säule h_1 drehbar ist. An der Speichenplatte *J* des Sextanten ist die Fufsplatte des kleinen oder Kimmspiegels *K* mittelst Schrauben in ebenfalls normaler Lage angebracht, dessen obere Hälfte aber nicht foliirt ist. Ihm gegenüber ist auf der zweiten Speichenplatte *L* ein normal gegen dieselbe beweglicher Ring *M* angebracht, in welchen für nahe terrestrische Objecte ein Rohr, für entferntere oder Himmelskörper aber ein astronomisches Fernrohr *NN* eingeschraubt werden kann, so dafs das hinter demselben befindliche Auge in der Richtung *NO* durch den unbelegten Theil des kleinen Spiegels das links liegende Object *O*, in dem Spiegel aber das durch zweimalige Reflexion entstandene Bild des rechtsliegenden Objects *P* erblickt. Die zur Helligkeitsabänderung der von den Objecten entstandenen Bilder nöthige senkrechte Bewegung des Ringes geschieht durch die in dem parallelepipedischen Ansatze *l* angebrachte Stellschraube l_1. Zu Beobachtungen an der Sonne enthält das Ocular des Fernrohrs ein Sonnenglas und zu gleichem Zwecke finden sich auch an der Speichenplatte *J* farbige Gläser *Q* und *R* in Metallrahmen, von denen die ersteren durch Charniere vor den grofsen, die letzteren hinter den unbelegten Theil des kleinen Spiegels gebracht werden können. In der Mitte des Werkzeugs befindet sich ein etwas drehbarer Handgriff *S*, an welchem dasselbe in der einen Hand gehalten wird. Zur Verbefserung eines etwaigen Fehlers in der Stellung der Spiegel sind an den Fufsplatten derselben noch Correctionsschrauben und unter dem Fufse des kleinen Spiegels ist auch eine Schraube *k* angebracht, wodurch er dem grofsen Spiegel, bei einer bestimmten Stellung der Alhidade, erforderlichen Falls parallel gestellt werden kann. In der vorliegenden Construction dienen beim grofsen Spiegel die drei Befestigungsschrauben zugleich zur Correction.

Zum Verpacken und Transport des Werkzeugs dient ein Kasten, in welchen die unter dem Sextanten befindlichen drei Füfse gestellt werden. Zwei derselben, *T*, sind unter dem Bogen *AB* befestigt, der dritte T_1 aber wird an die Hülse *D* geschraubt.

Der Halbmefser der Sextanten geht von zwölf bis zu einigen Zollen; in dieser Kleinheit heifsen sie Dosensextanten. Man findet einen solchen abgebildet und beschrieben in dem schon mehrfach erwähnten Magazin mathematischer Werkzeuge u. s. w. von F. W. Breithaupt, Heft 3, so wie in Engelbreit's Instrumenten der Geodäsie und Hydrometrie; in welchem Werke auch ein englischer Dosensextant abgebildet ist. Bei terrestrischen Gegenständen pflegt



man bei den gröfseren Sextanten sich wohl noch eines leicht transportabelen Stativs zu bedienen, welches eine Einrichtung hat, dafs die Sextantenebene in jede beliebige Lage gegen den Horizont gebracht werden kann.

§. 403.

2. Der Spiegelkreis.

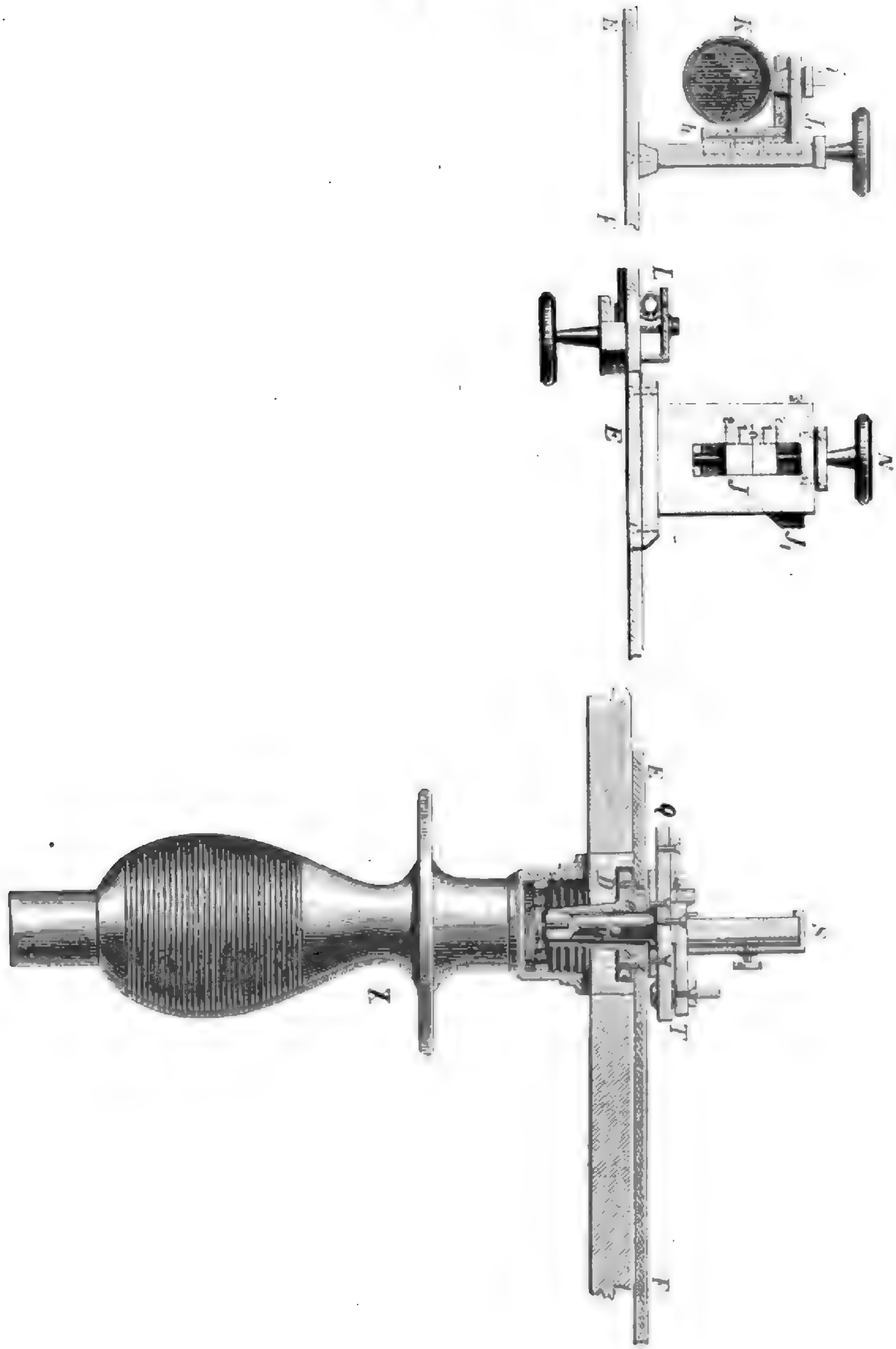
Die Methode der Repetition bei der Winkelbestimmung (§. 268.) ist auch bei den Spiegelinstrumenten durch Vollkreise angewandt. Diese Spiegel- oder Reflexionskreise, welche zuerst von Tob. Mayer 1770 in Vorschlag gebracht und später von Borda in Paris verbefsert wurden, haben vor den Sextanten zwar den Vortheil, dafs die Theilungsfehler, und wenn an der Alhidade der grofsen Spiegel diametral gegenüber zwei Verniere angebracht sind, auch der Excentricitätsfehler verringert werden können, allein auf der anderen Seite gestatten die Sextanten, da ihnen ein gröfserer Halbmefser gegeben werden kann, eine gröfsere Genauigkeit im Ablesen, zugleich aber auch wegen des geringeren Gewichts einen bequemeren Gebrauch. In neuerer Zeit sind sie mit Recht durch den Pistor'schen Spiegel-Prismenkreis und den Steinheil'schen Prismenkreis fast ganz verdrängt.

§. 404.

In Fig. 199. ist die vordere Ansicht eines von Lenoir in Paris verfertigten Borda'schen Reflexionskreises in halber wahrer Gröfse dargestellt. Fig. 200. zeigt in den beiden links stehenden Figuren die Construction des Fernrohrträgers, in der rechtsstehenden den Verticaldurchschnitt durch den Mittelpunkt des Werkzeugs mit dem untergeschraubten Handgriff.

Der silberne Limbus des Kreisrandes AB ist unmittelbar von 10 zu 10 Minuten getheilt, die aber nach §. 401. für 20 Minuten, so wie die halben Grade als ganze Grade abgelesen werden. Die von dem Kreisrande ausgehenden sechs Speichen, auf welchen zur Vermeidung der Biegung die ringförmige Scheibe CC festgeschraubt ist, bilden in der Mitte einen durchbohrten Cylinder D (Fig. 200.), in welchem die grofse Alhidade EF mit ihrer konischen Büchse ee sich drehen läfst. An dem einen Ende trägt die Alhidade die Vernierplatte G, so wie die Fufsplatte h für den kleinen Spiegel H, dessen untere Hälfte wieder nur foliiert ist. An dem anderen Ende derselben ist der Träger $J\,J_1\,J_2$ für das Fernrohr K festgeschraubt und auch das Mikrometerwerk LL angebracht, welches dieselbe Einrichtung hat, wie am Sextanten, nur dafs die Mikrometerschraube an beiden Enden einen geränderten Kopf trägt. M und M_1 bezeichnen zwei auf der Alhidade drehbare Hülsen zur Aufnahme der Blenden mit verschieden gefärbten Gläsern, von denen in m und m_1 zwei dargestellt sind. Der Fernrohrträger besteht aus der in der Mitte durchbrochenen, auf der Alhidade festgeschraubten und an der Rückseite mit Nuthen versehenen parallelepipedischen

Fig. 200.



Säule J und den beiden rechtwinklicht mit einander verbundenen Platten J_1 J_2. An dem horizontalliegenden Theile J_1 ist durch einen keilförmigen Fortsatz i des Fernrohrs, welcher in einen gleichgeformten Einschnitt der Platte J_1 gesteckt wird, durch die mittelst eines aufgesetzten Schlüfsels drehbare Schraube i_1, das Fernrohr in verticaler Richtung um eine versenkte Schraube drehbar und dadurch dessen Visierlinie mit der Kreisebene parallel zu stellen. Durch die Umdrehung der Schraube N dagegen, deren Stützpunkt J enthält, kann das Fernrohr, zur Helligkeitsabänderung der Bilder der Objecte, durch die längs J sich bewegende Platte J_2, da ein Vorsprung derselben die Mutter für die Schraube enthält, in verticaler Richtung bewegt werden. Endlich ist noch auf der Alhidade EF ein Kreisbogenstück OP mit zwei längs desselben beweglichen, aber festzustellenden Schiebern op befestigt, das von zwei Nullpunkten aus, eine Eintheilung in halbe, aber für ganze geltende Grade enthält und zur Bestimmung der Winkel nach der Repetitionsmethode mit den die Indices enthaltenden Schiebern benutzt werden kann.

Innerhalb der konischen Büchse ee der Alhidade des kleinen Spiegels läfst sich nun der konische Zapfen c_1 (Fig. 200.) für die Alhidade QR des grofsen Spiegels S drehen. Während das eine Ende der Alhidade die Fufsplatte T des Spiegels S trägt, enthält das andere den Vernier U und für die Hemmung und feine Einstellung ein wie an der grofsen Alhidade eingerichtetes Mikrometerwerk. Zur genauen Ablesung der Theilung ist auf der Alhidade QR eine drehbare Säule mit dem wieder für sich drehbaren Loupenhalter V befestigt, während zum Ablesen der Theilung am Vernier G eine beigegebene Handloupe dient. Eine, den Hülsen M und M_1 analog eingerichtete Hülse W nimmt die mit verschieden gefärbten Gläsern versehenen Blenden auf, von welchen in w die eine derselben abgebildet ist. Zur verticalen Stellung der beiden Spiegel H und S enthält jeder Fufs derselben eine Correctionsschraube h_1 und s_1, welche durch den zu i_1 passenden Schlüfsel bewegt werden kann. Die Spiegel werden, wie beim Sextanten, in ihren Fafsungen durch Druckschrauben, welche gegen eine im Innern liegende Feder treten, festgehalten.

Das astronomische Ocular k des Fernrohrs läfst sich mit einem Sehrohr, so wie mit einem concaven Ocular vertauschen, wodurch das Fernrohr zu einem Galilei'schen Fernrohr wird.

X endlich bezeichnet den Handgriff des Instruments, dessen obere messingene Fafsung auf die Erweiterung der Büchse D geschraubt werden kann.

Zum Verpacken und Transport des Instruments dient ein Kasten, welcher alle einzelnen Theile desselben aufnimmt.

§. 405.

3. Das katadioptrische Spiegellineal.

Die Einrichtung dieses in Fig. 201. in Zweidrittel wahrer Gröfse dargestellten Spiegelwerkzeugs stützt sich ebenfalls auf die Theorie des Spiegelsextanten, enthält aber zugleich noch eine Vorrichtung, mittelst welcher der gemefsene schiefe Winkel, als Horizontalwinkel gedacht, auf der kleinen Mefstischplatte, welche damit verbunden werden kann, zu verzeichnen ist. Ungeachtet seiner Kleinheit gestattet es doch die Bestimmung der Winkel bis auf 1 bis 2 Minuten; nur ist für gröfsere Winkel der Gebrauch etwas unbequem. Es dient vorzugsweise zur Aufnahme des Details bei militairischen Mefsungen, zu welchem Zwecke es auch von Netto seine Einrichtung erhalten hat. *)

Aufser dem Sextanten AB, den beiden Spiegeln C und D, welche die bei dem Sextanten angegebene Einrichtung und Stellung haben, der Alhidade E und dem auf der Erweiterung der Sextantenebene in dem Ringe F befindlichen Rohre G befindet sich auf der entgegengesetzten Seite des kleinen Spiegels C bei H ein Plattencharnier, durch welches das eine zweier Lineale J und K um einen Punkt gedreht werden kann, welcher am Kopfe des Gewindes durch den Durchschnitt h zweier auf eine Glasplatte gerifsener Normalen bezeichnet ist. Schliefsen die Lineale, wie in der Zeichnung angegeben, an einander, so mufs der Index des Verniers mit dem Nullpunkte der Theilung zusammenfallen. Damit bei einer Bewegung des Lineals K, die Alhidade nebst dem grofsen Spiegel mit herumgeführt wird, sitzt bei L, so dafs $Lh = hD$ ist, ein mit einer prismatischen Stange M, die mit bedeutender Friction durch den Fufs des Spiegels D geht, verbundener Zapfen. Dadurch wird die Drehung des Lineals dem doppelten Drehungswinkel des Spiegels D gleich, so dafs demnach den Kanten der beiden Lineale entlang der gemefsene Winkel auch sogleich auf der Mefstischplatte verzeichnet werden kann. Zur Befestigung des Werkzeugs auf der Mefstischplatte dienen zwei Zwingen, von denen eine in N dargestellt ist, indem die kleinen Löcher n derselben auf die Stifte ii gesteckt und die zugehörigen Druckschrauben O angezogen werden. Die Mefstischplatte wird durch einen eingeschraubten Handgriff P gehalten, der auch an das Werkzeug selbst geschraubt werden kann, wenn man die Mefsung der Winkel ohne Platte vornehmen will. Zur Parallelstellung der beiden Spiegel endlich dient eine an dem Fufse des kleinen Spiegels angebrachte Mikrometerschraube Q und zum genauen Ablesen der Theilung eine Handloupe.

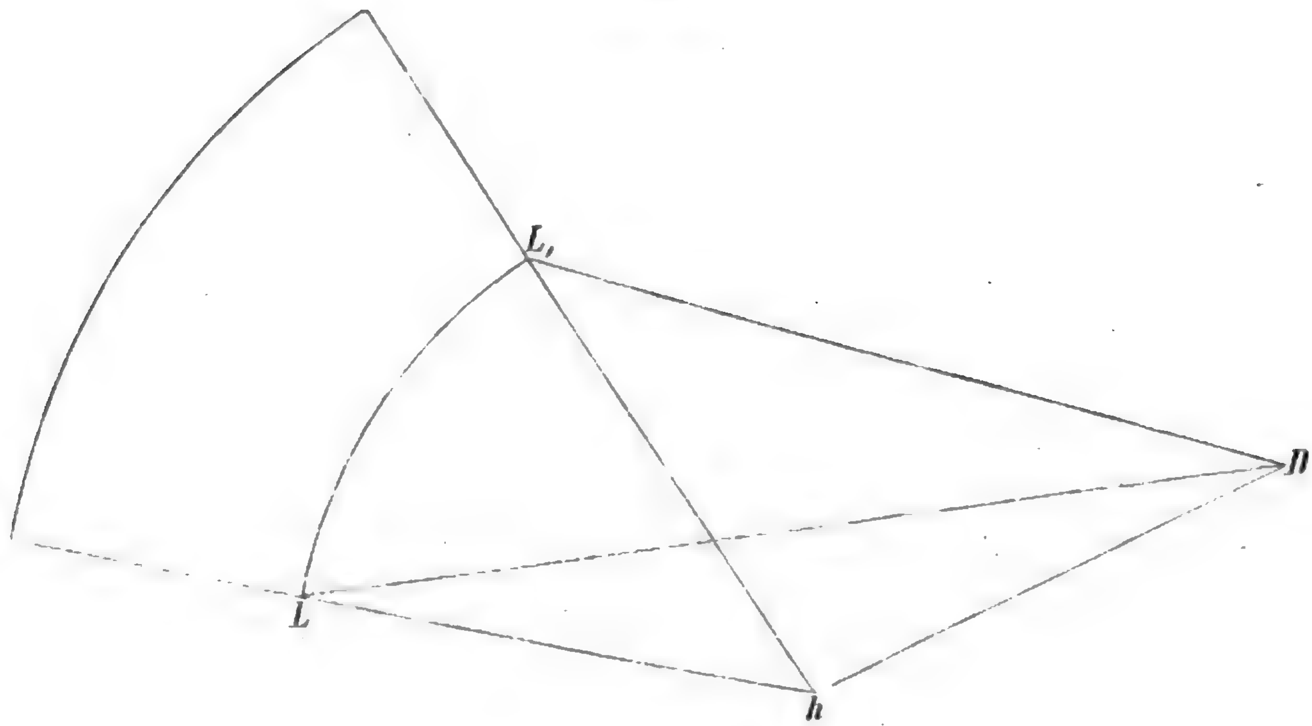
Dafs die oben erwähnte Drehung des Lineals hL dem doppelten Drehungswinkel des grofsen Spiegels, also nach §. 401. dem Winkel der Objecte entspricht, ergiebt sich sogleich aus Fig. 202. Denn es ist in den gleichschenklichten Dreiecken LhD und L_1hD

*) F. W. Netto, das Aufnehmen zu Pferde u. s. w. Berlin 1826.



Fig. 201.

Fig. 202.



$$L\,h\,D = 180^0 - 2\,h\,D\,L,$$

$$L_1\,h\,D = 180^0 - 2\,h\,D\,L_1,$$

folglich ist $$L\,h\,D - L_1\,h\,D = 2\,(h\,D\,L_1 - h\,D\,L)$$

oder $$L_1\,h\,L = 2\,L\,D\,L_1;$$

da aber $L\,D\,L_1$ dem Drehungswinkel des grofsen Spiegels entspricht, so stellt der Winkel $L_1\,h\,L$ den Winkel zwischen den einvisierten Objecten dar.

Anmerkung. Auf denselben Grundsätzen, auf welche die Construction des Spiegelsextanten sich stützt, beruhen auch noch einige andere Spiegelwerkzeuge, die ebenfalls, wie das vorliegende Spiegellineal, vorzugsweise nur bei militairischen Aufnahmen angewandt werden, doch auch in einzelnen Fällen bei der Aufnahme des Details bei topographischen Vermefsungen ihre Anwendung finden können. Dahin gehören der katadioptrische Zirkel von Höschel und der Douglas'sche, von Horner verbefserte reflectierende Halbkreis, Reflector genannt. Ihre Beschreibung findet man u. a. in Netto's Handbuch der Vermefsungskunde. Berlin 1820, I. und in Schneitler's Instrumenten und Werkzeugen der höheren und niederen Mefskunst. 2. Aufl. Leipzig 1852. S. 221.

Die Fehler der Reflexionsinstrumente mit Spiegeln und deren Berichtigung.

§. 406.

Wenn schon bei allen im Vorhergehenden beschriebenen Winkelmefsern, vor dem Gebrauche derselben zu Winkelmefsungen, eine Auffindung ihrer Fehler und eine möglichste Berichtigung derselben ein wesentliches Geschäft des ausübenden Geometers bilden mufste, aber doch mehrere der Fehler durch die Art der Mefsung unschädlich gemacht werden konnten: so mufs bei den Reflexionsinstrumenten eine vor dem Gebrauche vorgenommene Untersuchung und Berichtigung ihrer

Fehler um so mehr als nothwendig angesehen werden, da die meisten derselben nicht durch die Art der Beobachtung unschädlich gemacht werden können.

Diese Prüfungen beziehen sich nun:

1. auf die Untersuchung, ob die Glasebenen der Spiegel parallel und wirklich eben sind;

2. ob beide Spiegel senkrecht auf der Instrumentenebene stehen;

3. ob die Visierlinie des Fernrohrs dieser Ebene parallel ist und

4. ob die Blendgläser von parallelen Ebenen gebildet werden.

Aufserdem würden auch hier noch die Theilungsfehler zu untersuchen und der Indexfehler zu ermitteln sein, der bei dem direct beobachteten Gegenstande hinsichtlich der Stellung der Spiegel gegen den Stand des Index des Verniers und des Nullpunkts der Theilung vorhanden ist.

§. 407.

1. Prüfung des Parallelismus der Glasebenen der beiden Spiegel.

Man wendet zunächst den grofsen, dann den kleinen Spiegel gegen ein gut sichtbares, scharf begrenztes irdisches Object, oder noch zweckmäfsiger gegen einen hellen Stern. Zeigt sich das Bild dabei nicht ganz fehlerfrei, also bei dem Sterne kein scharf begrenzter kleiner Kreis, so sind entweder die Ebenen des angewandten Spiegels nicht parallel, oder die Vorderfläche desselben stellt keine Ebene dar; die Spiegel sind dann unbrauchbar.

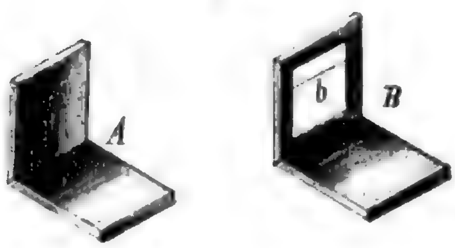
§. 408.

2. Prüfung der normalen Stellung der Spiegel gegen die Ebene des Spiegelwerkzeuges.

1. Beim grofsen Spiegel geschieht diese Untersuchung am einfachsten dadurch, dafs man seine Alhidade ungefähr auf 60° stellt, darauf das Spiegelinstrument horizontal hält, den Limbus von sich abgekehrt und nun schräg so gegen den Spiegel sieht, dafs man einen Theil des Limbus und zugleich das im Spiegel reflectierte Bild desselben wahrnimmt. Zeigt dann beim unmittelbar gesehenen Theil des Limbus gegen das reflectierte Bild desselben nicht die geringste Abweichung, d. h. der eine als die Verlängerung des anderen, so hat der grofse Spiegel die erforderliche normale Stellung. Erscheint aber der reflectierte Bogen höher, so ist die vordere Spiegelfläche gegen die Werkzeugsebene unter einem spitzen Winkel geneigt; erscheint derselbe aber niedriger, so ist der letztere Winkel stumpf.

Oder man wendet die in Fig. 203. dargestellten Dioptern *A* und *B* an, in welchen der ausgespannte Faden *a* des einen genau in gleicher Höhe mit dem Ocularloch *b* des anderen liegt. Man bringt das Spiegelinstrument auf eine horizontale Unterlage, stellt *A* etwa bei 120° und bewegt die Alhidade so weit auf dem Limbus fort, bis man im Spiegel das Bild des Loches *a* sieht. Dann

Fig 203.



stellt man zwischen A und den Spiegel das Diopter B vor den Spiegel, so mufs bei der normalen Stellung des Spiegels, beim Hindurchsehen durch a der Faden b mit seinem Bilde genau zusammenfallen.

2. Beim kleinen Spiegel geschieht die Prüfung dadurch, dafs man denselben in eine mit dem grofsen Spiegel parallele Lage bringt, indem man z. B. beim Sextanten den Index des Verniers ungefähr auf den Nullpunkt der Theilung stellt, dann durch das Sehrohr oder den Ring des Fernrohrs, oder auch durch diefs selbst nach einem scharf begrenzten terrestrischen Objecte oder auf einen hellen Stern oder den Rand der Sonne sieht. Läfst sich dann durch etwaige geringe Drehung der Alhidade die Coincidenz des direct gesehenen Objects mit seinem katoptrischen Bilde genau herstellen, so sind beide Spiegel parallel und daher auch der kleine Spiegel normal zur Werkzeugsebene. Wenn aber die Coincidenz sich auf keinerlei Weise bewerkstelligen läfst, so ist in der Stellung des kleinen Spiegels ein Fehler vorhanden. (Ueber diese Einstellung vergl. man §. 410.)

3. Am grofsen Spiegel wird beim Sextanten und dem Spiegellineale (Figg. 198. und 201.) die Verbefserung an den Schräubchen a a a, mit welchen der Fufs desselben auf der Unterlage befestigt ist, vorgenommen und nöthigenfalls noch durch Unterlegen kleiner, gleich dicker Papierstückchen nachgeholfen; beim Spiegelkreis dient dazu die Correctionsschraube s_1.

Am kleinen Spiegel dienen bei den zuerst genannten Apparaten zur Verbefserung die Schrauben β β, beim Spiegelkreise aber die Schraube h_1.

§. 409.

3. Prüfung der parallelen Lage der Visierlinie mit der Ebene des Spiegelwerkzeugs.

1. Man setze auf die Ebene des Spiegelinstruments neben das Fernrohr das im vorigen Paragraphen erwähnte Oculardiopter A, und neben den kleinen Spiegel das Objectivdiopter B, so dafs eine durch die Mitte der Dioptern gedachte Linie dem Fernrohr nach dem Augenmafse parallel ist. Man visiere nun nach einem so entfernten, deutlich markierten Objecte, dafs der Unterschied in der Höhe der Dioptern gegen die Höhe der Visierlinie nicht in Betracht kommt. Sieht man alsdann den Gegenstand auch mitten im Fernrohre, so ist die Visierlinie parallel der Werkzeugsebene.

2. Da das Fadennetz des Fernrohrs der Spiegelinstrumente aufser dem Verticalfaden noch zwei parallele, von dem Mittelpunkte gleichweit abstehende Fäden enthält, so kann die Untersuchung auch so vorgenommen werden. Man giebt den Horizontalfäden eine mit der Werkzeugsebene nahezu parallele Lage, wählt die Sonne und den Mond, oder diesen und einen hellen Stern und bringt

ihre Bilder an dem der Werkzeugsebene zunächstliegenden Faden zur genauen Berührung. Durch eine entsprechende Verstellung des Apparats bringt man nun dieselben Objecte an den zweiten Horizontalfaden. Bleibt an ihm dann die Berührung der Bilder vollkommen die nämliche, so hat das Fernrohr die erforderliche Lage. Trennen sich aber an dem zweiten Faden die Ränder der Bilder, so liegt das Objectivende des Fernrohrs der Spiegelwerkzeugsebene näher, als das Ocularende; die umgekehrte Neigung findet Statt, wenn die Ränder der Bilder sich decken. Damit aber der Fehler leichter entdeckt werden kann, müſsen die Objecte wenigstens um 90° von einander abstehen.

Eine Verbeſserung des Fehlers an dem oben beschriebenen Spiegelsextanten ist nicht möglich, da das Fernrohr unmittelbar in den Ring *M* (Fig. 198.), nicht aber in einen anderen, gegen jenen durch Schrauben zu verstellenden Ring (vergl. Fig. 212.) geschraubt wird. Bei dem Spiegelkreise der Figg. 199. und 200. geschieht die Berichtigung durch Verstellung der Schraube i_1.

§. 410.

4. Bestimmung der Gröſse des Indexfehlers beim Spiegelsextanten.

Soll der Index des Verniers bei der Meſsung eines schiefliegenden- oder Höhen-Winkels den richtigen Bogen angeben, so müſsen offenbar für das Object, von welchem ab die Drehung des groſsen Spiegels geschieht, beide Spiegel eine parallele Lage haben, wenn der Index des Verniers auf dem Nullpunkte der Theilung steht, weil nur dann das dioptrische Bild des direct beobachteten Objects, zu dem man meistens bei Meſsungen schiefliegender Winkel das linksliegende nimmt, mit dem katoptrischen des anderen coincidieren kann. Nachdem man nun den Index auf den Nullpunkt gestellt hat, sieht man durch den unbelegten Theil des kleinen Spiegels auf das (linksliegende) Object und untersucht, ob das katoptrische Bild desselben Gegenstandes mit dem direct beobachteten Objecte coincidiert. Ist dieſs nicht der Fall, so bewirkt man durch Anwendung der Mikrometerschraube die genaue Coincidenz; dann giebt der Vernier unmittelbar die Gröſse des Indexfehlers für das direct beobachtete Object an. Fällt nun der Index v o r d. h. links von 0, wenn man vom Mittelpunkte des Instruments aus die von Links nach Rechts beschriebene Eintheilung betrachtet, so muſs der abgelesene Winkel als additiv, dagegen als subtractiv dem auf dem Kreisbogen abgelesenen Maſs des schiefliegenden Winkels zugesetzt werden, wenn er hinter 0, also in der Gradeintheilung liegt.

Will man aber den Indexfehler zu Null machen, so muſs die mangelnde Coincidenz des direct beobachteten Gegenstandes mit dem katoptrischen Bilde desselben durch Verstellung des kleinen Spiegels ausgeführt werden, wozu in Fig. 198. die Schraube *k* dient. In diesem Falle pflegt man aber zweckmäſsiger den einen Rand der Sonne oder des Mondes zu wählen, indem dann für alle irdischen Objecte der sich ergebende Indexfehler additiv sein wird. Man bringt

nämlich den rechtsliegenden Rand des directen Sonnenbildes mit dem linksliegenden des katoptrischen zur Berührung und liest die Angabe des Verniers ab, diese sei $= + a_1$. Durch eine Bewegung der Alhidade mittelst der Mikrometerschraube bringt man nun die anderen beiden Sonnenränder zur Berührung, ist dann die Angabe des Verniers $= - a_2$, so ist der Indexfehler immer gleich der halben algebraischen Summe der nach ihren Vorzeichen genommenen beiden Ablesungen, also in dem vorliegenden Falle $i = \pm \frac{1}{2}(a_1 - a_2)$, je nachdem $a_1 \gtrless a_2$ ist.

Bestimmt man nun noch die absolute Summe beider Ablesungen, so mufs deren Hälfte mit dem in den astronomischen Ephemeriden angegebenen Durchmefser der Sonne übereinstimmen.

Bei dem katoptrischen Spiegellineal, auch bei einigen Dosensextanten läfst sich der Indexfehler dadurch immer beseitigen, dafs man den kleinen Spiegel durch die vor ihm befindliche Mikrometerschraube Q (Fig. 201.) bis zur Coincidenz der beiden Bilder dreht.

§. 411.

5. Prüfung des Parallelismus der Blendgläser.

Es ist einleuchtend, dafs wenn die Blendgläser keine parallele Ebene haben, dann auch die auffallenden Lichtstrahlen nicht parallel den aus der anderen Ebene austretenden sein können, in die Bestimmung des Winkels demnach ein Fehler treten wird, dessen Gröfse erforscht werden mufs.

Bestimmt man beim Sextanten den Indexfehler z. B. für die Sonne zuerst ohne vorgelegte Blendgläser, sondern nur mittelst des vor dem Ocular befindlichen Sonnenglases, dann aber mit den vorgeschobenen Blendgläsern, so wird der Unterschied beider Bestimmungen dem Fehler der Blendungen gleich zu setzen sein. Bei Höhenbestimmungen an der Sonne wird man deshalb auch den Fehler dadurch unschädlich machen, dafs man den Indexfehler mit denselben Blendgläsern bestimmt, welche bei der Höhenmefsung benutzt werden. Selbstverständlich wird aber von dieser Eliminierung bei der Winkelbestimmung zwischen der Sonne und dem Monde oder einem terrestrischen Gegenstande nicht mehr die Rede sein können. Lafsen sich nun die Blendgläser in ihren Fafsungen umstecken, wie es bei dem oben beschriebenen Spiegelkreise der Fall ist, so wird offenbar durch die halbe Differenz der durch die Umsteckung der Gläser erhaltenen Resultate der Indexfehler ausgedrückt, also auch der Fehler der Blendgläser bestimmt werden können. Ist aber eine solche Umsteckung nicht gestattet, so läfst sich der Fehler auf folgende Art bestimmen. Man ermittelt zunächst beim Monde den Indexfehler ohne Blendgläser, dann durch Vorschiebung der weniger intensiv gefärbten z. B. der mattgrünen und mattrothen Gläser vor den kleinen und vor den grofsen Spiegel, so erhält man dadurch die Fehler für jedes einzelne Glas. Verbindet man darauf bei der Bestimmung des Indexfehlers an der Sonne die

dunkelgefärbten Gläser mit einem der vorigen, so giebt die Vergleichung des Resultats mit dem beim Monde ohne Zuziehung der Gläser gefundenen, den Fehler der mit einander verbundenen Gläser und daher auch den für das dunkelgefärbte Glas, so dafs also nun bei Winkelbestimmungen der Fehler jedes einzeln angewandten Glases in Betracht gezogen werden kann.

Anmerkung 1. Die meisten Sextanten sind auch noch mit einem Excentricitätsfehler behaftet, indem nämlich die Achse des Zapfens der Albidade nicht durch den Mittelpunkt der Theilung geht. Man erfährt die Gröfse seines Einflufses, wenn man mehrere genau bekannte, z. B. mit einem Theodolith gemefsene Winkel mit den mit dem Sextanten gemefsenen vergleicht und die Unterschiede der gemefsenen und wahren Werthe bestimmt. Da aber der Fehler bei einem vollen Kreise durch die Ablesung an zwei diametral gegenüberstehenden Verniers vollständig eliminiert werden kann (§. 200.), so wendet man zu genaueren Beobachtungen in neuerer Zeit Statt der Sextanten nur noch die Reflexionskreise an, und von diesen insbesondere den Spiegelprismenkreis von Pistor und Martins und den Prismenkreis von Steinheil.

Anmerkung 2. Da es nicht in Abrede gestellt werden kann, dafs die Berichtigung der im Vorhergehenden angegebenen Fehler durch die bekannten mechanischen Hülfsmittel nicht immer mit der Genauigkeit auszuführen ist, die ein vollkommen fehlerfreies Instrument fordert, also insofern nach dem Einflufs gefragt werden könnte, den eine noch geringe Neigung der Fernrohrachse und der beiden Spiegel gegen die Spiegelwerkzeugsebene auf die Mefsung der Winkel ausübt: so ist doch auf der anderen Seite nicht zu leugnen, dafs die genaue Bestimmung der numerischen Werthe dafür in den wenigsten Fällen zuläfsig ist. Aus diesem Grunde glaube ich die dahin gehörigen Betrachtungen übergehen und den Leser, der davon Kenntnifs zu nehmen wünscht, auf folgende Werke verweisen zu können.

Bohnenberger's Anleitung zur geographischen Ortsbestimmung u. s. w. Göttingen, 1795.

Ueber den Spiegelsextanten, von Encke im Berliner astronomischen Jahrbuche. Band 30.

Sawitsch praktische Astronomie. II. Hamburg, 1851.

Brünnow's sphärische Astronomie. 2. Aufl. Berlin, 1862.

§. 412.

6. Schott's neues Spiegelinstrument.

Diefs vom Ingenieur-Hauptmann Schott in Berlin construierte Taschen-Spiegelwerkzeug soll, wie das Netto'sche katadioptrische Spiegellineal, der Höschel'sche katadioptrische Zirkel u. a. vorzugsweise zu militairischen Aufnahmen und zugleich zum Aufsuchen von Alignements dienen. Zugleich soll es

bei leichter Handhabung und billigem Preise die Mefsung aller Winkel von 0 bis 180° und darüber hinaus bis 280°, aufserdem aber auch noch die graphische Darstellung der gemefsenen Winkel gestatten. Die Construction und der Gebrauch desselben beruht auf dem im §. 402. 2. angegebenen Satze, nur mit dem Unterschiede, dafs der daselbst gedachte drehbare Spiegel hier durch einen eben solchen vertreten ist, der gegen einen anderen feststehenden Spiegel gedacht werden kann. Der charakteristische Unterschied des Instruments gegen die anderen Spiegelinstrumente besteht hauptsächlich darin, dafs die beiden Spiegel über einander stehen, wodurch beide Bilder der Winkelobjecte gleichmäfsig einfach abgespiegelt ins Auge gelangen, daher dasselbe weder eines Diopters, noch eines Fernrohrs bedarf.

In Fig. 204. ist der Apparat in natürlicher Gröfse dargestellt. *A B* bezeichnet den Gradbogen, der etwas mehr als 140 Grade umfafst, in 280 halbe,

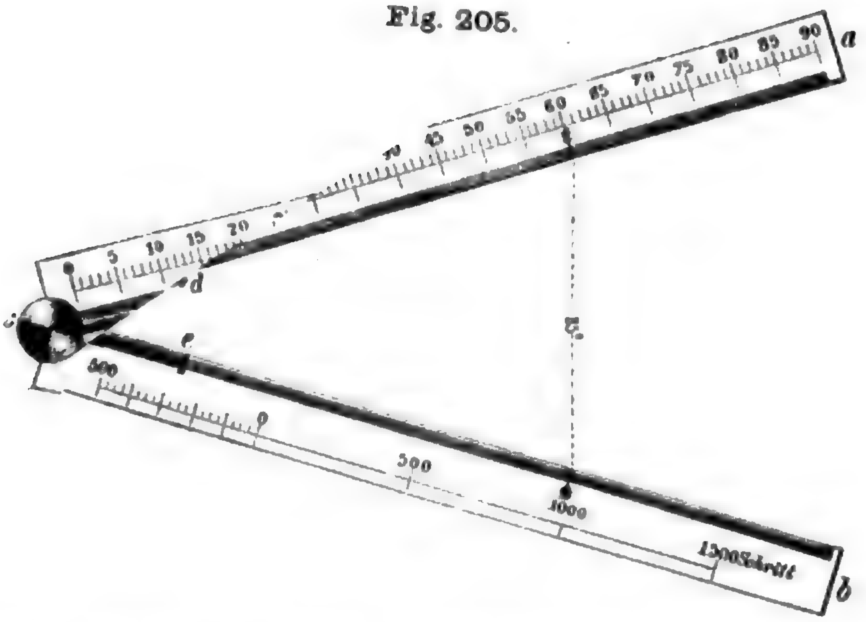
Fig. 204.



aber für ganze geltende Grade getheilt ist und um dessen Mittelpunkt eine mit einem Vernier versehene Alhidade *C D* sich dreht. Auf dieser ist der eine Spiegel *E* lothrecht befestigt, während der andere feststehende Spiegel *F* über demselben durch eine Platte *G* der Ebene des Gradbogens so befestigt ist, dafs wenn der Index des Verniers auf dem Nullpunkte der Theilung steht, beide Spiegel in eine Ebene fallen.

Der zur graphischen Darstellung der gemefsenen Winkel erforderliche, auf derselben Theorie beruhende und vorzugsweise zu Croquis dienende kleine Apparat, ist in Fig. 205. in halber natürlicher Gröfse dargestellt. Er besteht aus zwei

Fig. 205.



6 Zoll langen Linealen *a c*, *c b*, die sich um einen offenen Mittelpunkt *c* drehen und von denen jedes einen Spiegel *d*, *e* trägt. Der eine, höher stehende Spiegel ist so befestigt, dafs, wenn die Zielkanten beider Lineale zusammenliegen, die beiden Spiegelflächen ebenfalls eine Ebene darstellen. Da aber durch die Auseinanderstellung der Lineale nur der halbe gemefsene Winkel angegeben wird, so mufs beim Auftragen der von den Linealen dargestellte Winkel zwei Mal an einander getragen werden. Um die Anzahl der Grade angeben zu können, ist auf dem einen Lineal ein Sehnenmafsstab für die Winkel von 0° bis 90° angebracht, dem ein Halbmefser von 4 Zoll zum Grunde liegt.

§. 413.

Die Prüfung des Spiegelinstruments wird aufser der Untersuchung über die Richtigkeit der Theilung auf die richtige Stellung der Spiegel gegen die Instrumentenebene und gegen 0° und 180° der Theilung sich beziehen. Erscheint eine auf einem Papiere verzeichnete gerade Linie in beiden Spiegeln als eine fortlaufende Linie, so ist die Stellung der Spiegel die richtige. Stellt man ferner den Index des Verniers auf 180°, hält das Instrument über die eine Schiene einer in gerader Linie fortgehenden Eisenbahn und erscheint dann das Bild derselben in beiden Spiegeln ebenfalls als eine fortlaufende Linie, so steht auch 0° gegen 180° richtig.

Der Gebrauch des Apparats dürfte sich aus dem Vorhergehenden ohne Weiteres ergeben, wenn man von der scheinbaren Unbequemlichkeit, dafs der Beobachter bei dem Mefsen eines Winkels der Winkelöffnung den Rücken zukehrt, abstrahiert.

Anmerkung. Die von dem Constructeur des in Rede stehenden Apparats mir mitgetheilte Zeichnung und Beschreibung findet sich in dem 51. Bande des Archivs für Artillerie- und Ingenieur-Officiere.

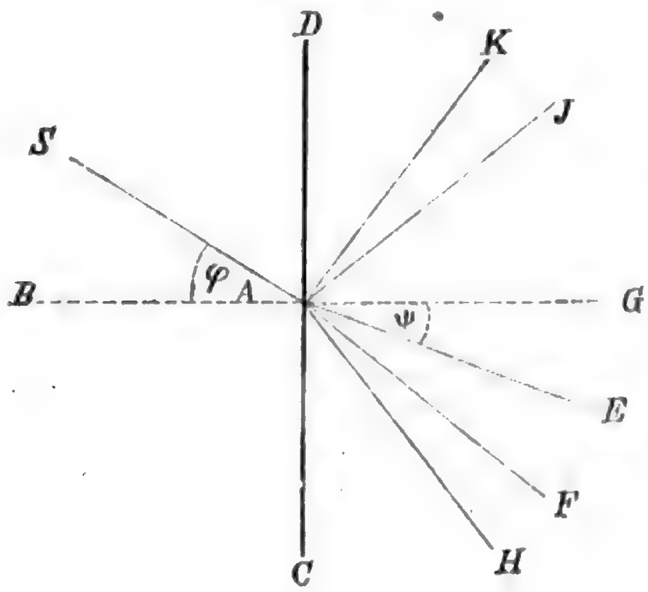
B. Reflexions... mente mit Prismen.

Gesetze der Brechung und der tota. Reflexion in Glasprismen.

§. 414.

Fällt in Fig. 206. ein Lichtstrahl SA unter dem Ein... winkel $SAB = \varphi$ auf die Grenzebene DC zweier verschiedener durchsichtiger ...tel, so ist nach den Gesetzen der einfachen Brechung, wenn AE der mit dem Einfallslothe den Winkel ψ bildende gebrochene Strahl und $n:1$ der Brechungsexponent der beiden genannten Mittel ist,

Fig. 206.



$$\sin\varphi : \sin\psi = n : 1$$

und zwar stellt, wenn ψ dem dichteren Mittel angehört, $n:1$ einen unechten, umgekehrt aber einen echten Bruch dar, wenn das genannte Mittel das dünnere ist. Für Luft und Crownglas soll in der Folge der Brechungsexponent $n:1 = \frac{1539}{1000}$ *) (meistens wird er weniger genau $= \frac{3}{2}$ gesetzt) genommen werden.

Wird nun $\varphi = 90^0$, so ist $\sin\psi = \frac{1}{n} = 0{,}6497725$, wozu der Winkel $40^0\ 31'$ gehört, so dafs beim Eintritt der Lichtstrahlen aus Luft in Glas alle gebrochenen Strahlen zwischen 0^0 und $40^0\ 31'$ liegen müfsen, weshalb dieser Winkel für die genannten Mittel der **Grenzwinkel** genannt wird. So wie also umgekehrt ein Lichtstrahl FA im Glase mit dem Einfallslothe einen Winkel FAG von $40^0\ 31'$ bildet, wird er bei seinem Austritte in die Luft einen Winkel von 90^0 mit dem Einfallslothe bilden, d. h. parallel der Grenzebene CD sich fortbewegen, wenn in A die Intensität des Lichts nicht $= 1$ wäre. Deshalb wird aber sowohl der erwähnte Lichtstrahl FA, als auch jeder andere HA, der einen noch gröfseren Winkel als $40^0\ 31'$ mit dem Einfallslothe einschliefst, gar nicht in die Luft eintreten, sondern nun eine regelmäfsige Reflexion nach der Richtung JA und KA, wenn $FAG = JAG$ und $HAG = GAK$ ist, erleiden. Da das Licht hierbei nichts an seiner Intensität verliert, so bezeichnet man die Erscheinung mit dem Namen der **totalen Reflexion**.

---

*) Schubarth's Sammlung physikalischer Tabellen. Berlin, 1841.

§. 415.

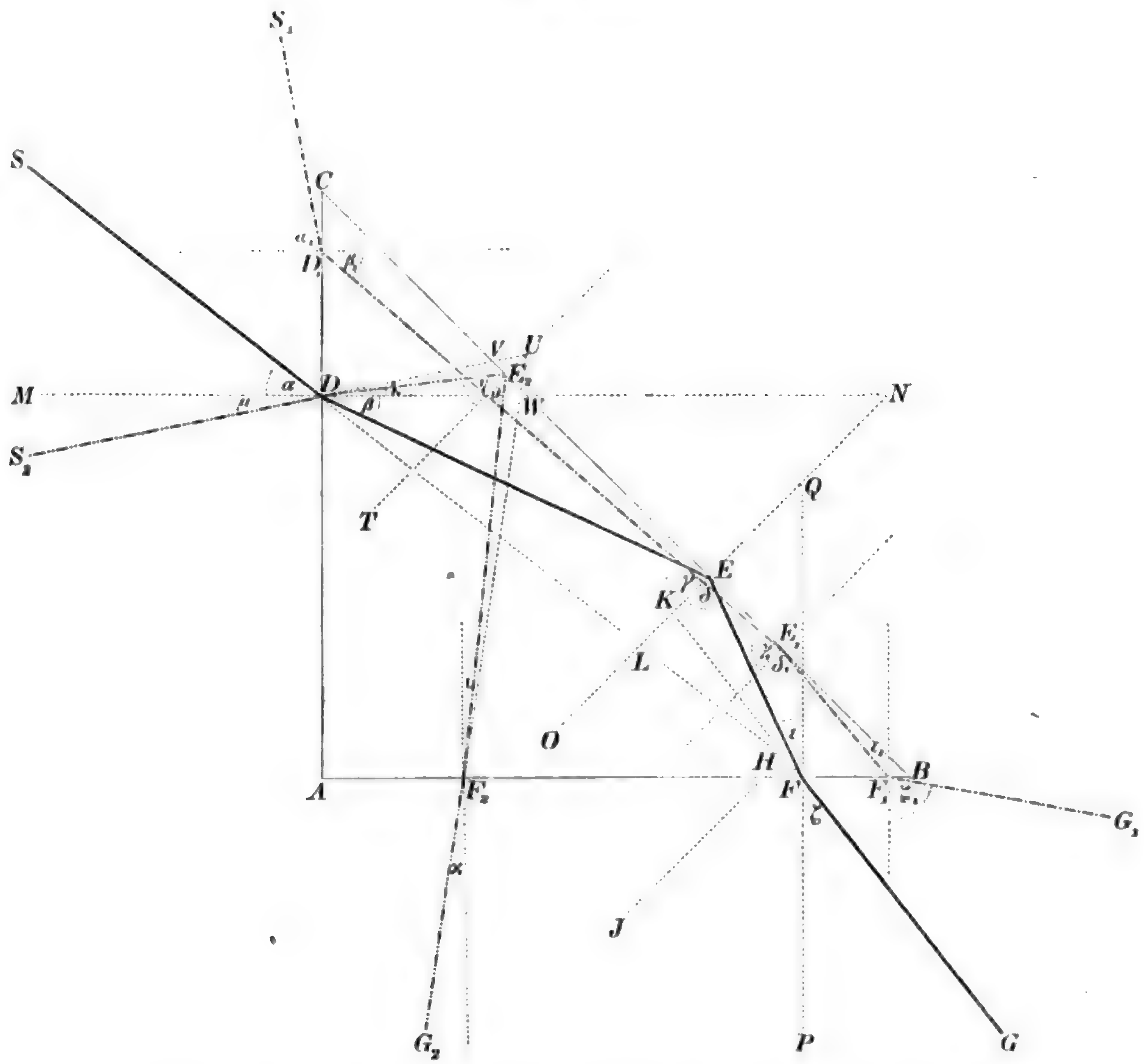
Bei den geometrischen Instrumenten der praktischen Geometrie bedient man sich als Stellvertreter der ebenen Glasspiegel nur der normalen dreiseitigen Glasprismen von der Gestalt, dafs der normal auf die Seitenkanten geführte Schnitt ein gleichschenklicht-rechtwinklichtes Dreieck giebt. Auch wird ein solches nur allein in der Lage angewandt, dafs die eine der Kathetenebenen als Lichteintrittsebene, die andere als Lichtaustrittsebene, die Hypotenusenebene also als reflectierende Ebene für die totale Reflexion benutzt wird.

Denkt man sich aber verschiedene, von einem Gegenstande oder einem leuchtenden Punkte auf die eine Kathetenebene auffallende Lichtstrahlen, so wird selbst bei denselben Einfallswinkeln das vor der anderen Kathetenebene gedachte Auge des Beobachters eine verschiedene Erscheinung wahrnehmen, je nachdem der zu bestimmten Lichtstrahlen gehörige Einfallspunkt dem spitzen oder rechten Winkel des Durchschnittsdreiecks näher oder entfernter liegt. Es kann nämlich bei demselben Einfalls- oder Brechungswinkel der in dem Prisma gebrochene Strahl für einen dem spitzen Winkel nahe gelegenen Einfallspunkt auf die Hypotenusenebene fallen, um von ihr nach dem Gesetze der totalen Reflexion nach der zweiten Kathetenebene reflectiert und von dieser abermals gebrochen in das Auge zu gelangen. Oder es fällt für einen anderen, dem rechten Winkel nahe genug liegenden Einfallspunkt, der gebrochene Strahl sogleich so auf die Lichtaustrittsebene, dafs er von ihr nach der Hypotenusenebene reflectiert wird, um von dieser nun zum zweiten Male nach der Lichtaustrittsebene reflectiert und dann von derselben zum zweiten Male gebrochen in das Auge zu kommen. In beiden Fällen vertritt dann das Glasprisma für das beobachtende Auge die Stelle eines Spiegels mit erhöhter Lichtintensität. Gelangt aber in dem zweiten Falle der von der Kathetenebene reflectierte Strahl in einer Richtung auf die Hypotenusenebene, dafs er von ihr nicht reflectiert werden kann, so tritt er aus derselben gebrochen, aber für das Auge des Beobachters nutzlos in die Luft. Eben so wenig kann das von Gegenständen auf die eine Kathetenebene fallende Licht zu Mefsungen in der praktischen Geometrie benutzt werden, wenn es von der Hypotenusenebene nicht reflectiert wird, sondern zum zweiten Male gebrochen in die Luft gelangt. Für die ersteren Fälle lafsen sich bestimmte Gesetze für die Gröfse des Ablenkungswinkels ableiten, den der Einfallsstrahl mit dem zum zweiten Male gebrochenen Strahle einschliesst.

§. 416.

1. Es sei in Fig. 207. ABC der auf den Seitenkanten eines gleichschenklicht-rechtwinklichten Prisma's normale Durchschnitt, so dafs daher AC und AB den Durchschnitt der Kathetenebenen, BC den der Hypotenusenebene bezeichnen. D sei ein in der Kathetenebene AC liegender Einfallspunkt für ver-

Fig. 207.



schiedene mit dem Durchschnitt ABC parallele Lichtstrahlen, MN das durch ihn gezogene Einfallsloth.

Der Einfallswinkel des dem spitzen Winkel des Prisma's zugekehrten Einfallsstrahls SD sei α, so ist, wenn $\sin\alpha : \sin\beta = n : 1$, DE der den Winkel β einschliefsende gebrochene Strahl. Wird in E das Einfallsloth NO gezogen, so ist $\gamma = N + \beta = 45^0 + \beta$, also γ gröfser als der Grenzwinkel $40^0\ 31'$; es findet daher für den Strahl DE in E unter einem Winkel $\delta = \gamma$ eine totale Reflexion nach der Richtung EF auf die zweite Kathetenebene AB Statt, der dann wieder bei seinem Austritt in die Luft so nach der Richtung FG gebrochen

wird, dafs, wenn man durch F das Einfallsloth PQ zieht, $\sin\zeta = n \sin\varepsilon$ ist. Da nun auch $\delta = 45^0 + \varepsilon$, so ist $\varepsilon = \beta$ und daher auch $\zeta = \alpha$.

Verlängert man den zum zweiten Male gebrochenen Strahl FG über F hinaus, bis er von der Verlängerung des Einfallsstrahls SD in H geschnitten wird, so drückt der Winkel SHG den Ablenkungswinkel beider Strahlen aus. Zieht man HJ parallel mit ON und verlängert GH bis K, so ist

$$SLO = \gamma + \alpha - \beta,$$
$$OKG = \delta + \zeta - \varepsilon,$$

folglich $$SLO + OKG = SHG = 45^0 + \beta + 45^0 + \varepsilon + \alpha + \zeta$$

oder der Ablenkungswinkel $SHG = A = 90^0 + 2\alpha$.

Es folgt hieraus noch, dafs wenn $\alpha = 45^0$ ist, auch $\zeta = 45^0$ sein mufs, d. h. das mit der Hypotenusenebene in D parallel auffallende Licht wird auch nach der zweiten Brechung parallel mit derselben Ebene austreten.

2. Ebenso würde für den Einfallsstrahl $S_1 D_1$, der mit dem durch D_1 gehenden Einfallslothe einen Einfallswinkel α_1 von fast 90^0 bildet, der gebrochene Strahl, wenn $\sin\alpha_1 = n \sin\beta_1$ ist, unter dem Winkel β_1, der fast dem Grenzwinkel $40^0\,31'$ gleichkommt, in der Richtung $D_1 E_1$ die Hypotenusenebene treffen; da nun wieder γ einen Winkel bildet, der den Grenzwinkel übersteigt, so findet daselbst ebenfalls eine totale Reflexion nach $E_1 F_1$ und in F_1 eine zweite Brechung nach $F_1 G_1$ Statt, wenn $\sin\zeta_1 = n \sin\varepsilon_1$ ist. Auch hier ist wieder $\varepsilon_1 = \beta_1$ und $\zeta_1 = \alpha_1$, so wie auch der Ablenkungswinkel $A_1 = 90^0 + 2\alpha_1$.

3. Wächst nun der Einfallswinkel α_1 bis zu 90^0, so wird β_1 zum Grenzwinkel; es werden daher dann auch γ_1 und δ_1 ihre Maximalwerthe erhalten und das mit der Kathetenebene CA einfallende Licht, wenn dasselbe bei D_1 in das Prisma eindringen könnte, den Weg $D_1 E_1 F_1 B$ nehmen, d. h. parallel mit der Kathetenebene AB sich von F_1 ab fortbewegen; da aber die Intensität des Lichts in diesem Falle $= 0$ ist, so wird das in der Verlängerung von AB befindliche Auge überall keine Lichterscheinung wahrnehmen.

4. Denkt man sich nun ferner von D, oder von jedem anderen Punkte der Kathete CA, in dem Prisma einen Strahl DE_2 gezogen, der mit dem in E_2 gezogenen Einfallslothe TU einen Winkel $\eta = 40^0\,31'$ bildet, so wird auch dieser nach §. 414. wieder unter demselben Winkel θ bis zur Kathetenebene AB nach F_2 total reflectiert, hier aber, wenn $\sin\varkappa = n \sin\iota$ ist, nach G_2 zum zweiten Male gebrochen werden. Da nun

$$45^0 = \eta + \lambda, \text{ oder } \eta = 45^0 - \lambda \text{ ist,}$$

so wird $\lambda = 4^0\,29'$ und bei dem Brechungsexponenten $\frac{1539}{1000}$ (§. 414.) der zum gebrochenen Strahle $D_1 E_2$ gehörige Einfallsstrahl $S_2 D_1$ unter dem Winkel $\mu = 6^0\,54'$ auf der negativen oder entgegengesetzten Seite des Einfallslothes liegen, auf welcher die vorhin betrachteten Einfallsstrahlen angenommen wurden, so dafs demnach für jedes beliebige Einfallsloth, welches in der Brechungsebene eines

gleichschenklicht-rechtwinklichten Glasprisma's auf dessen Eintrittsebene errichtet wird, innerhalb des Raumes von 90^0 bis $-6^0\ 54'$ eine totale Reflexion der auffallenden Lichtstrahlen Statt findet. Da nun ferner $\vartheta = \eta_1$, so ist auch wieder $\iota = \lambda$ und $\varkappa = \mu$.

Verlängert man den Einfallsstrahl $S_2 D$, bis er den verlängerten gebrochenen Strahl $G_2 F_2$ in U schneidet, so ist der Ablenkungswinkel A_1 derselben $S_2 U G_2$. Es ist aber

$$DUT = \eta_1 - (\mu - \lambda)$$
$$= 45^0 - \lambda - \mu + \lambda = 45^0 - \mu,$$

folglich
$$A_1 = 90^0 - 2\mu.$$

Es ist daher die Ablenkung aller auf die eine Kathetenebene innerhalb des Raums von 90^0 bis $-6^0\ 44'$ auffallenden Lichtstrahlen, welche eine einmalige totale Reflexion und eine zweimalige Brechung erleiden, wenn der Einfallswinkel des Einfallsstrahls $= \alpha$ ist, $A = 90^0 \pm 2\alpha$.

5. Verlängert man den Einfallsstrahl $S_2 D$ bis zur Hypotenusenebene in V und ist der daselbst gebildete Winkel $S_2 VC = \lambda$, so ist, da $S_2 DC = G_2 F_2 B = \lambda + 45^0$ und $G_2 WB = G_2 F_2 B - 45^0$, $G_2 WC = 180^0 - G_2 WB = 180^0 - \lambda$, d. h. der Winkel, welchen ein Einfallsstrahl innerhalb der totalen Reflexionsgrenze mit der Hypotenusenebene einschliefst, ist das Supplement des Winkels, welchen der zum zweiten Male gebrochene Strahl mit derselben bildet. Da nun nach dem Vorhergehenden der Grenzwerth von $\mu = 6^0\ 55'$ beträgt, so ist der von $\lambda = 51^0\ 55'$ und daher sein Supplementarwerth $128^0\ 5'$.

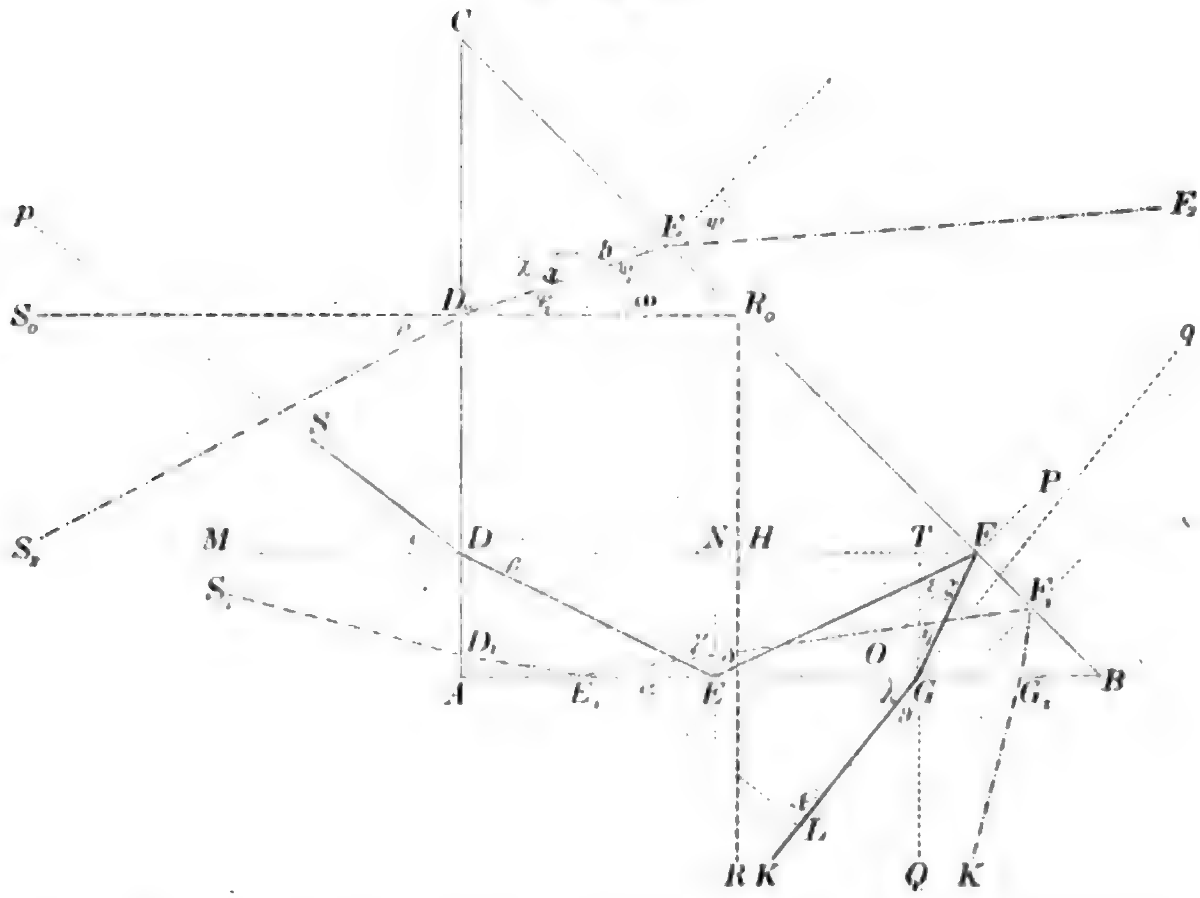
§. 417.

1. Ist in Fig. 208. für einen beliebigen Einfallspunkt D_0 der Einfallswinkel $\alpha = 0$, d. h. fällt ein Lichtstrahl $S_0 D_0$ normal auf die eine Kathetenebene, so ist auch $\beta = o$, d. h. er wird ungebrochen bis zum Punkte R_0 der Hypothenusenebene fortgehen, diese also in der Richtung $R_0 R$ normal treffen und in derselben Richtung aus derselben austreten, so dafs die Gröfse der Ablenkung $= 90^0$ ist, welches auch mit dem Ausdrucke des vorigen Paragraphen $A = 90^0 \pm 2\alpha$ übereinstimmt.

2. Dieselbe Gröfse der Ablenkung zeigen aber auch noch solche auf die eine Kathetenebene fallende Lichtstrahlen, welche nach einer zweimaligen Reflexion von der anderen Katheten- und Hypotenusenebene und einer nochmaligen Brechung an der letzteren Kathetenebene wieder austreten.

Es sei zur Bestimmung der Lage des Grenzeinfallsstrahls SD ein, vorerst unter einem beliebigen Winkel α einfallender Lichtstrahl; ist $\sin\alpha = n \sin\beta$ und $NDE = \beta$, so bezeichnet DE den zugehörigen gebrochenen Strahl, welcher mit dem in E errichteten Einfallslothe den Winkel γ bildet. Da $\gamma = 90^0 - \beta$, nach §. 414. aber β nicht gröfser als $40^0\ 31'$ sein kann, so ist γ gröfser als der Grenzwinkel und daher, wenn $\delta = \gamma$ ist, eine totale Reflexion nach der Hypotenusenebene in der Richtung EF möglich. Mit dem in F errichteten Einfallslothe OP

Fig. 208.



bildet EF den Winkel ε; es kann also nur dann von einer **totalen** Reflexion des Strahles EF in der Richtung FG nach der Kathetenebene AB unter dem Winkel $\zeta = \varepsilon$ die Rede sein, wenn ε mindestens dem Grenzwinkel $40^0\ 31'$ gleich ist. Zieht man durch F mit AB die Parallele FH, so folgt, dafs, da $\varepsilon = 45^0 - \beta$ ist, β höchstens $4^0\ 29'$, und, da $\sin \alpha = \frac{1539}{1000} \sin \beta$ ist, dafs α höchstens $6^0\ 54'$ betragen kann. Bildet nun FG mit dem durch G gezogenen Einfallslothe QT den Winkel η, so wird, da $\eta + \zeta = 45^0$, also $\zeta = 45^0 - \eta$ und $\varepsilon = \zeta$ ist, auch $\eta = \beta$ und daher auch, wenn $\sin \vartheta = n \sin \eta$ ist, GK der zum zweiten Male gebrochene Strahl und mithin auch $\vartheta = \alpha$ sein. Wird demnach ε gröfser, so wird β und deshalb auch α abnehmen, so dafs der einfallende Strahl nur zwischen $+ 6^0\ 54'$ und 0^0 liegen kann.

Werden die Winkel ε und ζ dem Grenzwinkel $40^0\ 31'$ gleich gemacht, so zeigt der gebrochene Linienzug $S_1\ D_1\ E_1\ F_1\ G_1\ K_1$ den Gang der vom Objecte S_1 herkommenden zwei Mal total reflectierten und zwei Mal gebrochenen Strahlen.

Um die Gröfse des Ablenkungswinkels des Einfallsstrahls SD mit dem zum zweiten Male gebrochenen Strahle GK zu bestimmen, verlängere man SD bis L in GK, so ist der Nebenwinkel des Ablenkungswinkels

$$A = \lambda + \alpha = 90^0 - \alpha + \alpha = 90^0,$$

so dafs daher dem in L befindlichen Auge die in den Richtungen DS und KG liegenden Objecte p und q unter einem rechten Winkel erscheinen.

Die optischen Bilder von Objecten, welche durch eine zweimalige Brechung und eine zweimalige Reflexion in einem Glasprisma mit gleichschenklicht-rechtwinklichtem Querschnitt entstehen, unterscheiden sich daher in zweifacher Hinsicht von solchen, die durch eine zweimalige Brechung und eine einmalige totale Reflexion sich erzeugen. Wegen des kleinen Auffallraums wird, in Bezug auf die ersteren Bilder, nur eine geringere Lichtmenge zur Erzeugung des Bildes verbraucht und dieselbe durch Zerstreuung noch vermindert, sobald die zweite Reflexion von der Hypotenusenebene keine totale sein kann, daher die Bilder viel dunkler und zwar um so dunkler erscheinen, je mehr die zweite Reflexion von der totalen abweicht. Und da ferner der Ablenkungswinkel A, unabhängig von dem Einfallswinkel, immer einerlei Gröfse, nämlich 90^0 hat, so wird das Bild des Objects p, so lange das Auge auf denselben Gegenstand q gerichtet ist, bei einer Drehung des Prisma's um die Kathete AC, stillstehen, eine Eigenschaft, wodurch sich die hier in Rede stehenden Bilder sogleich von den früher betrachteten wesentlich unterscheiden, bei welchen eine Drehung des Prisma's auch eine Drehung der Bilder zur Folge haben mufs.

Anmerkung. Auf die Eigenthümlichkeit der hier in Rede stehenden Bilder hat, soviel mir bekannt, Bauernfeind in einem Werkchen „Das Prismenkreuz" zuerst aufmerksam gemacht und dieselbe bei dem von ihm construirten, mit demselben Namen belegten kleinen Mefsapparat mit zum Grunde gelegt. (§. 451.) Man vergl. noch über andere in Prismen vorkommende Reflexionen eine Abhandlung von E. Reusch über die Brechung des Lichts in Prismen mit Rücksicht auf mehrere innere Reflexionen in Poggendorff's Annalen der Physik und Chemie. Band 93.

§. 418.

Denkt man sich durch einen beliebigen Punkt D_0 der Kathetenebene CA eine Ebene, parallel der anderen Kathetenebene gelegt, wodurch der Lichteinfallsraum in den oberen, positiven und den unteren, negativen zerfällt, so findet nach den vorigen Paragraphen für alle Lichtstrahlen, welche zwischen $-6^0\,54'$ und $+90^0$ liegen, dann eine zweimalige Brechung und eine totale Reflexion, für Lichtstrahlen zwischen 0^0 und $+90^0$ aber dann eine zweimalige Brechung und eine zweimalige Reflexion von der Hypotenusenebene Statt, wenn der zuerst gebrochene Strahl im ersten Falle die Hypotenusen-, im anderen die andere Kathetenebene trifft. Unter diesen Umständen wird auch für die im positiven Raume zwischen 0^0 und $+6^0\,54'$ liegenden Lichtstrahlen die Reflexion sich in eine totale verwandeln. Für alle übrigen Lichtstrahlen des negativen Raums aber wird nur die Erscheinung der zweimaligen Brechung des Lichts sich zeigen, die aber bei den Spiegelwerkzeugen nicht weiter in Betracht kommt.

Ist nun ein solcher Lichtstrahl in Fig. 208. $S_2 D_0$, welcher mit dem Einfallslothe $S_0 R_0$ den Einfallswinkel φ bildet, so wird derselbe in dem Glase, wenn

$\sin\varphi = n \sin\varphi_1$ ist, in der Richtung $D_0 E_2$ gebrochen und, wenn $\sin\psi = n \sin\psi_1$ ist, in E_2 beim Austritt in die Luft, die Richtung $E_2 F_2$ annehmen. Verlängert man $S_2 D_0$ und $F_2 E_2$, bis sie sich gegenseitig schneiden, so bezeichnet der Winkel χ die Gröſse der Ablenkung des Einfallsstrahls und des zum zweiten Male gebrochenen Strahls. Es ist aber

$$\chi = a + b = (\varphi - \varphi_1) + (\psi - \psi_1),$$

oder, da

$$\omega = 45^0 = \varphi_1 + \psi_1 \text{ ist,}$$

$$\chi = \varphi + \psi - 45^0.$$

§. 419.

Als ein besonderer Fall kann noch der bemerkt werden, wenn $C = 0$ ist, d. h. wenn das Glasprisma sich in eine Glastafel mit parallelen Grenzebenen verwandelt. Dann ist in Bezug auf die Lage der Winkelschenkel beim Prisma $\psi_1 = -\varphi_1$ und daher auch $\psi = -\varphi$, mithin $\chi = \varphi - \varphi - 45^0 = 0$, d. h. der zum zweiten Male gebrochene Strahl $E_2 F_2$ ist dem Einfallsstrahle $S_2 D_0$ parallel. Bei Plangläsern mit parallelen Ebenen wird man demnach alle Gegenstände, deren Lichtstrahlen nicht zu schief auffallen, um so mehr gerade so sehen, als ob kein Glas da wäre, je dünner dasselbe ist; nur wenn man in sehr schiefer Richtung durch solche Gläser sieht, erscheinen die Objecte etwas seitwärts gerückt.

§. 420.

1. Der Spiegelprismenkreis von Pistor und Martins.

In den Figg. 209. und 210. ist ein Pistor-Martins'scher Spiegelprismenkreis, von Meyerstein in Göttingen angefertigt, in der vorderen (oberen) und Seitenansicht in halber wahrer Gröſse dargestellt.

Der Haupttheil des Apparats, der Kreis, besteht hier aus einer vollen Scheibe *AA* mit einem eine Linie hohen Rande *BB*, dessen innerer Raum den eingetheilten silbernen Limbus enthält. Bei den in grösseren Dimensionen ausgeführten Apparaten ist der Kreisrand mit dem Mittelstück durch Speichen verbunden, der Limbus auch konisch abgedreht. An die Bodenfläche der Scheibe ist wie beim Sextanten mittelst einer Flansche die Büchse *C* zur Aufnahme eines Stahlzapfens festgeschraubt, durch welchen die an seine Flansche befestigte Alhidade *DE* in der Büchse gedreht werden kann. Das kreisförmige Mittelstück *F* der Alhidade trägt den Rahmen *G* des Planspiegels, dessen nach *F* liegende Seite die reflectierende ist; durch drei kleine Schräubchen *ggg*, welche durch die Faſsung gegen das Glas treten, kann die senkrechte Stellung des Spiegels gegen die Alhidade vermittelt werden. An den Enden der letzteren sind die Verniers *d*, *e* so befestigt, daſs sie mit dem Limbus in eine Ebene fallen. Zur Hemmung der groben Bewegung und feinen Einstellung der Alhidade dient ein Federmikrometer mit der Halterplatte und Klemmschraube *H* und die Mikrometerschraube H_1. (Vergl. Fig. 74.) Zur genauen und bequemen Ablesung der Theilung ist die Loupe *J*

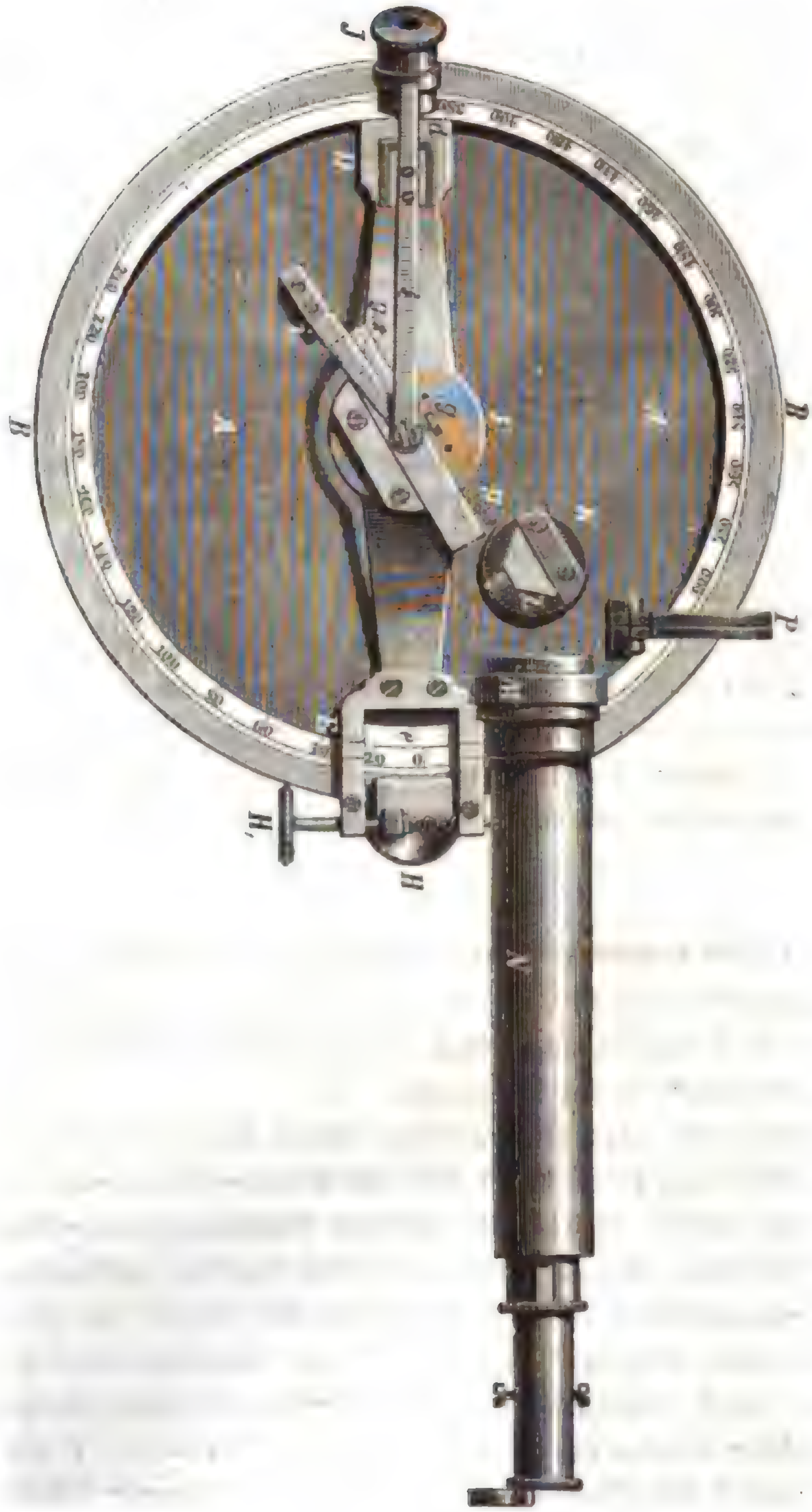
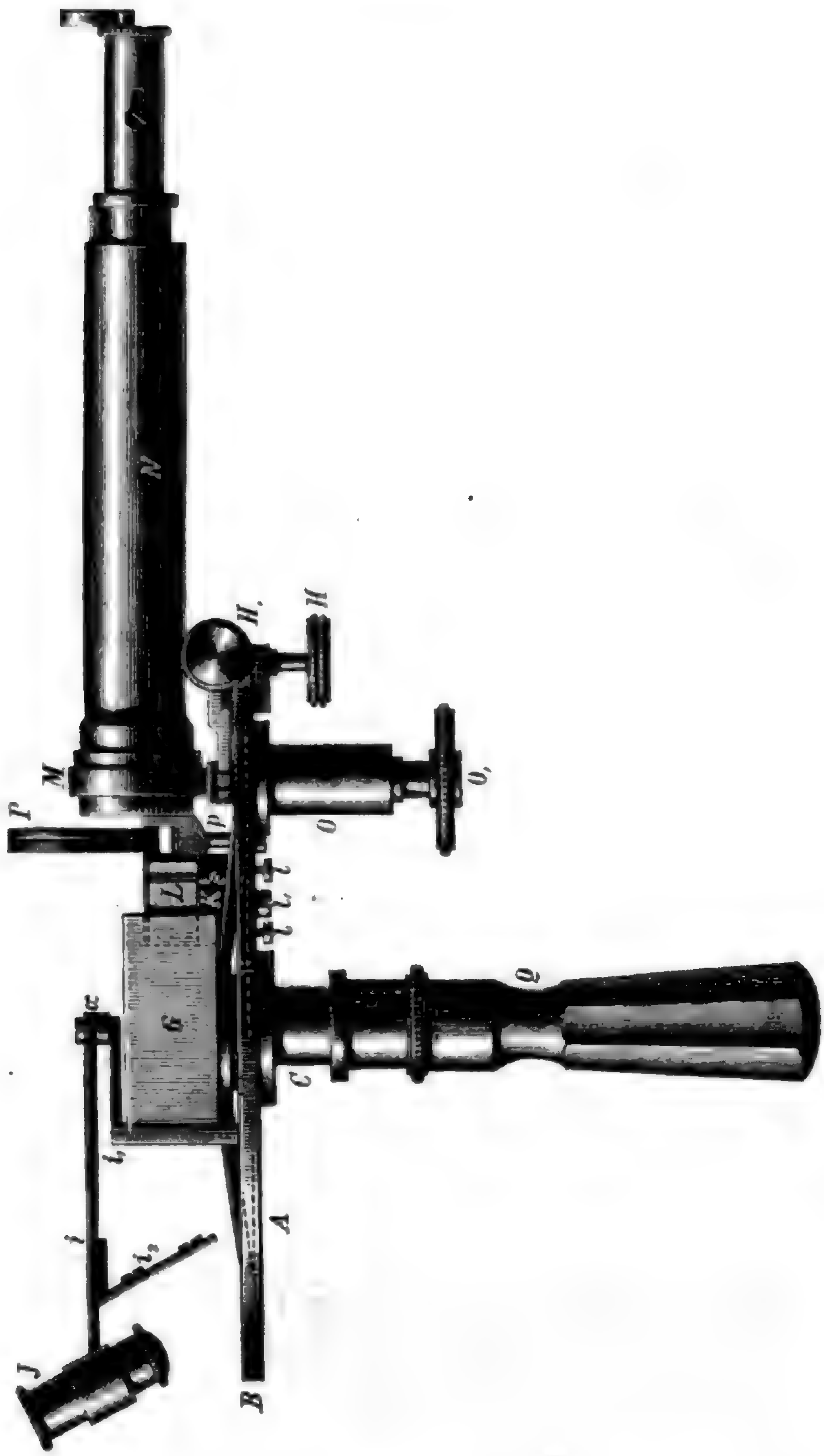


Fig. 209.

mit ihrem Arme i, um a an dem Arme einer auf dem Kreise befestigten Stütze i_1 drehbar; zugleich enthält der Arm i die Blende i_2.

Auf dem massiven Cylinder K ist die Fufsplatte des gleichschenklicht-rechtwinklichten Glasprisma's L, von etwa halber Höhe des Spiegels, so befestigt, dafs wenn der Index dès Verniers 1 auf 0 steht, die Hypotenusenebene mit der Spiegelfläche des Planspiegels nahezu parallel ist. Um fremdes Licht abzuhalten, dient

Fig. 210.



die Fafsung der Hypotenusenebene des Prisma's zugleich als Blende. Zur senkrechten Stellung des Prisma's ruht der Cylinder K auf 3 Stellschrauben $l\,l$ (von denen in der Zeichnung nur 2 sichtbar sind); die gröfsere Zugschraube l_1 dient nicht nur zur Verstellung des Cylinders, sondern auch zu seiner Befestigung gegen die Kreisebene. Auf dieser ist wieder, der Austrittskathetenebene des Prisma's gegenüber, der Träger M des mit einem Sonnenglase versehenen Fernrohrs N

angebracht, der, wie beim Sextanten, theils zur Helligkeitsabänderung, theils um über dem Prisma weg das eine Object direct beobachten zu können, in verticaler Richtung durch eine in einer Büchse O befindliche Schraube O_1 verstellbar ist. Aus letzterem Grunde ist auch die Oeffnung des Fernrohrobjectivs gröfser, als die Höhe des Prisma's. Zugleich hat die Visierlinie des Fernrohrs gegen das Prisma und den Spiegel eine solche Lage, dafs ein ihr parallel auf den letzteren fallender Lichtstrahl auch parallel mit seiner ursprünglichen Richtung gebrochen wird. Da diese Richtung nun, wenn die Indexlinie der Verniers durch 0 geht, unter einem Winkel von 20° auf den Spiegel fällt, so mufs unter diesem Winkel die Spiegelfläche des Planspiegels gegen die Indexlinie geneigt sein. Die kreisförmigen Fafsungen P der beiden, dunkelroth und grün gefärbten, kreissegmentartig geformten Blendgläser sind auf einer zwischen dem Fernrohr und dem Prisma auf dem Kreise drehbaren Säule p angebracht und auch für sich um eine Achse drehbar. In Fig. 209. sind sie als nieder-, in Fig. 210. als aufgeschlagen dargestellt. Durch die erwähnten Drehungen der Säule und der Gläser kann man jedes derselben und zugleich in beliebiger Lage vor das Prisma oder vor das Fernrohr bringen.

Die Verniers geben zwar unmittelbar nur 20 Sekunden vom gemefsenen Winkel an, gestatten aber doch noch mit ziemlicher Sicherheit eine Schätzung von 10 Sekunden.

Die bis auf Sechstelgrade ausgeführte Eintheilung des Limbus, die also 20 Minuten des zu mefsenden Winkels darstellt, ist, wegen der durch den Stand des Prisma's beschränkten Drehung der Alhidade, nur bis auf die entsprechenden Bogen von 0 bis 240° und von 400° bis 600° ausgeführt und bezeichnet.

An die äufseren Schraubengänge der Büchse wird zum bequemen Halten des Instruments der Handgriff Q geschraubt.

Anmerkung. Die erste, obgleich kurze Beschreibung und Gebrauchsanweisung dieses zuerst patentierten Reflexionsinstruments findet sich im Berliner Gewerbe-Industrie- und Handelsblatt von Neukrantz. 14. Band S. 17. u. f.

Die Fehler des Pistor-Martins'schen Reflexionsinstruments und ihre Berichtigung.

§. 421.

Im Wesentlichen stimmen die hier vorzunehmenden Untersuchungen über die Fehler und deren Berichtigung mit denen überein, welche in den §§. 407. u. f. über die Reflexionsinstrumente mit Spiegeln angegeben sind.

1. Ob der Spiegel der Alhidade von ebenen und parallelen Flächen begrenzt ist und ob die Seitenflächen des Prisma's eben sind, wird nach §. 407. untersucht.

2. Die normale Stellung des Spiegels gegen die Kreisebene ist nach § 408. 1. zu untersuchen und zu berichtigen.

3. Ob das Prisma eine normale Lage gegen die Kreisebene hat und seine Seitenebenen der Achse desselben parallel sind, wird auf folgende Weise geprüft. Man richtet entweder das Fernrohr oder auch nur den Ring desselben auf ein entferntes, deutlich wahrnehmbares Object, z. B. auf die verticale Kante eines Schornsteins oder Hauses, auf die verticale Stange eines Thurms u. dgl. und sucht durch Drehung der Alhidade das direct beobachtete Object mit seinem katoptrischen Bilde in eine solche Lage zu bringen, dafs das eine in die Verlängerung des andern fällt. Kann diese Coincidenz vollständig erreicht werden, so hat das Prisma nicht nur die erforderliche, genau prismatische Gestalt, sondern es steht dasselbe auch normal gegen die Kreisebene. Zeigt sich aber bei beiden Bildern auf der einen oder andern Seite keine Gerade, sondern ein spitzer oder stumpfer Winkel, so verbefsert man den Fehler durch Anwendung der Correctionsschraube des Prisma's. Ist aber auch hierdurch derselbe auf keine Weise wegzuschaffen, so hat das Prisma eine pyramidalische Form und würde dann unbrauchbar sein.

4. Die Prüfung der parallelen Lage der Visierlinie mit der Kreisebene wird nach §. 409. vorgenommen, aber bei dem oben beschriebenen Apparate nicht an dem Ringe des Fernrohrs, sondern an dem vortretenden Stellschräubchen der Ocularblendung verbefsert.

5. Die Bestimmung der Gröfse des Indexfehlers und die etwaige Verbefserung desselben geschieht nach §. 410. Für die letztere wird die Zugschraube l_1 (Fig. 210.) etwas gelüftet, wodurch der Cylinder K mit dem Prisma auf den Spitzen der Stellschräubchen lll soweit als erforderlich gedreht werden kann. Dann ist die Zugschraube l_1 wieder fest anzuziehen. Es ist aber nach dieser Berichtigung rathsam, nun nochmals die unter 3. angegebene Prüfung zu wiederholen.

6. Die Prüfung der Blendgläser wird hier durch die Möglichkeit der Drehung derselben unter sich und die Drehung ihrer Säule gegen das im §. 411. angegebene Verfahren erleichtert. Hat man nach 5. den Indexfehler mit Vorlegung des einen Blendglases etwa in der Lage, dafs das Glassegment nach Unten gerichtet ist, bestimmt, so bringe man dasselbe durch Drehung um seine Achse und durch Drehung der Säule in die entgegengesetzte Lage und bestimme auch in dieser den Indexfehler. Weicht derselbe von dem zuerst bestimmten nicht ab, so ist das Glas ein Planglas mit parallelen Ebenen. Eine Abweichung des zweiten Resultats von dem ersten beweist aber den Nichtparallelismus der Glasebenen und es drückt dann die halbe Differenz der Resultate in beiden Lagen des Glases den von der mangelhaften Eigenschaft desselben herrührenden Fehler aus. Nimmt man noch weiter die Untersuchung auch für das andere Glas allein, dann aber auch in seiner Verbindung mit dem ersten vor, und zeigen sich die

Abweichungen so grofs, dafs sie nicht vernachläfsigt werden können, so mufs der Fehler bei jeder einzelnen Mefsung in Rechnung gebracht werden, oder die Gläser sind durch neue zu ersetzen.

7. Ueber die Untersuchung der Theilungsfehler des Limbus oder der Verniers ist wieder §. 199. zu vergleichen.

§. 422.

2. Der Prismenkreis von Steinheil.

Die erste Angabe über die Einrichtung und den Gebrauch dieses Reflexionsinstruments, das in Verbindung mit einem Chronometer, ohne Zweifel eins der zweckmäfsigsten, transportabeln astronomischen Mefsapparate für geographische Ortsbestimmungen bildet, findet sich, vom Erfinder selbst mitgetheilt, in Schumacher's astronomischen Nachrichten, XI. Nr. 243. und 247., woselbst auch ein Zusatz von Schumacher über die Anwendung desselben zu Polhöhenbestimmungen aus Circummeridianhöhen sich findet. Eine vollständige Theorie des Apparats von Bessel enthalten die Nr. 254. u. 255. desselben Bandes, auf welche ich den Leser verweisen mufs.

Der Umstand, dafs bei der Anwendung der Glasspiegel mit der Gröfse des zu mefsenden Winkels die Undeutlichkeit des doppelt reflectierten Bildes zunimmt und die Sextanten nicht auf alle Winkel anzuwenden sind, brachte den Erfinder des genannten Werkzeugs schon vor 30 Jahren auf die Idee, bei einem Vollkreise Statt der Glasspiegel, Glasprismen von gleichschenklicht-rechtwinklichtem Durchschnitt anzuwenden. Damit aber die von Winkelobjecten herkommenden Lichtstrahlen nach dem Princip der totalen Reflexion (§. 414.) reflectiert werden können, mufs das Prisma dergestalt um seine Achse gedreht werden können, dafs die austretenden Strahlen parallel mit der Visierlinie des Fernrohrs in das beobachtende Auge gelangen. Diese Drehung der Prismen mufs nun nach §. 401. 2. um einen halb so grofsen Winkel geschehen, als der Winkel der Objecte beträgt. Wird also ein Prisma mit dem eingetheilten Kreise, ein zweites mit der Alhidade desselben verbunden, so kann man durch Drehung beider Prismen wieder die Coincidenz der Bilder der Objecte bewirken. Da nun jedes dieser Prismen um etwa 48° gedreht werden kann, die Drehung beider demnach einen Winkel von über 90° umfafst, so folgt die Möglichkeit der Mefsung von Winkeln von über 180° Gröfse.

Sollen aber die gemefsenen Naturwinkel frei von constanten Beobachtungsfehlern sein, so müfsen die beiden Prismen nicht nur eine vollkommene Gleichheit ihrer Winkel besitzen, sondern auch in ihren Seitenebenen vollkommene Ebenen darstellen; endlich müfsen die Prismen auch vollkommen mathematische Prismen sein; die erste Bedingung wird dadurch am sichersten erreicht, dafs ein Prisma von doppelter Höhe in zwei Hälften zerschnitten wird; durch die Nichterfüllung der letzteren bilden sich zwar kleine Fehler, aber von so geringer und

constanter Gröfse, dafs sie meistens zu vernachläfsigen sind oder unschädlich gemacht werden können.

§. 423.

Die Figg. 211. und 212. stellen in halber wahrer Gröfse einen von Meyerstein in Göttingen angefertigten Steinheil'schen Prismakreis in der vorderen Ansicht und die Haupttheile desselben im Verticaldurchschnitt dar. A ist die Büchse für die Hauptachse, welche aus zwei auf beiden Seiten einer Flansche b liegenden Konus B und C von verschiedenen Dimensionen besteht. Für Beobachtungen aus freier Hand wird in die Büchse der Handgriff D geschraubt; auch kann man mittelst des eingeschnittenen Gewindes den Apparat auf das in Fig. 213. dargestellte Metallstativ schrauben, wenn die Beobachtungslocalitäten die Anwendung eines solchen gestatten; endlich kann der Apparat bei seiner Berichtigung auch mit einem stählernen Dreifufs verbunden werden. (Fig. 214.)

An der Büchse ist durch ein Mittelstück der Arm E mit der Hülse F befestigt, in welcher mittelst der Schraube G der in einen Doppelring H auslaufende Träger des Fernrohrs, zur Helligkeitsabänderung, in verticaler Richtung sich bewegen läfst. Der innere Ring h, in welchen das Fernrohr J geschraubt wird, kann mittelst zweier Correctionsschrauben $\eta\,\eta$ gegen den äufseren verstellt werden, um die Visierlinie des Fernrohrs parallel zur Kreisebene zu stellen, so wie durch die Stellschräubchen i der Ocularblendung die Visierlinie durch die Drehungsachse zu führen ist.

Der untere, kleinere Konus B passt in die Büchse A, so dafs dadurch der bewegliche Haupttheil des Apparats gegen das feste Fernrohr gedreht werden kann. In der Büchse ruht er auf einer kugel-calotteförmigen Feder und wird durch eine Unterlegscheibe und Gegenmutter b_1 gegen dieselbe gehalten. Nach Oben erweitert sich die Büchse zu einer Scheibe $b_2 b_2$, auf welcher die auf der Flansche b festgeschraubte Büchse K mit dem Kreise $L\,L$ sich drehen läfst. Innerhalb dieser Büchse, und zugleich den oberen, gröfseren Konus C umschliefsend, liegt die Büchse $m\,m$ für die Alhidade $M\,M$. Zur Hemmung der groben Bewegung des Kreises nebst der Alhidade dient die Klemme N mit der Klemmschraube N_1, indem in der ausgedrehten Nuth der an der Büchse K befindlichen Flansche k der Ansatz der Klemmplatte n seine Führung erhält. Auf dem oberen Ende des Konus C ist eine massive Platte cc durch Schrauben befestigt, welche die mit Correctionsschrauben $\alpha\alpha$ versehene Fufsplatte o des Kreisprisma's O trägt. Durch die auf den konischen Ansatz der Alhidadenbüchse $m\,m$ gelegte kugelcalotteförmige Feder wird die Büchse so an ihren Konus gedrückt, dafs auch in umgekehrter Lage des Instruments die Beobachtung sicher ausgeführt werden kann. Auf einen Ansatz der Alhidade ist der Loupenträger mit 2 Loupen P, von denen nur die eine dargestellt ist, zum genauen Ablesen der Theilung gesteckt und auf diesem Ansatze endlich, mit den nöthigen Correctionsschräubchen $\beta\beta$ versehen,

Fig. 211.

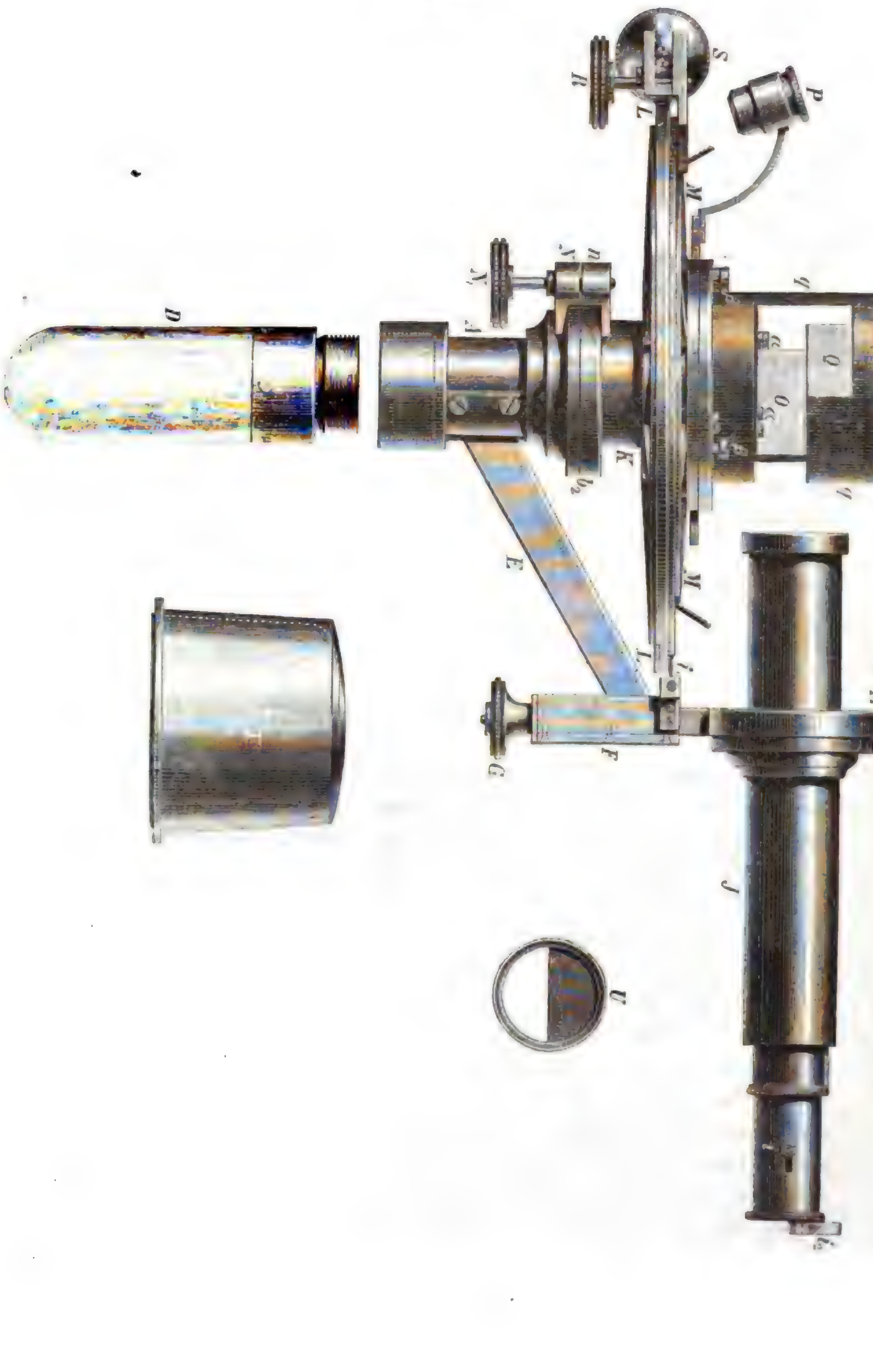
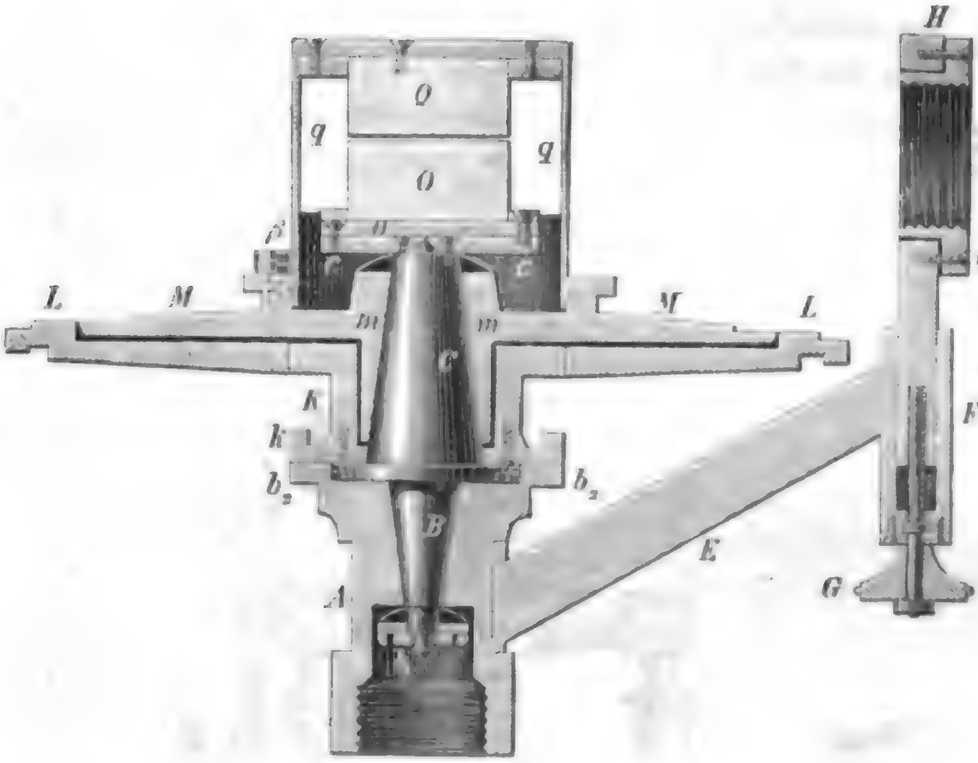


Fig. 212.



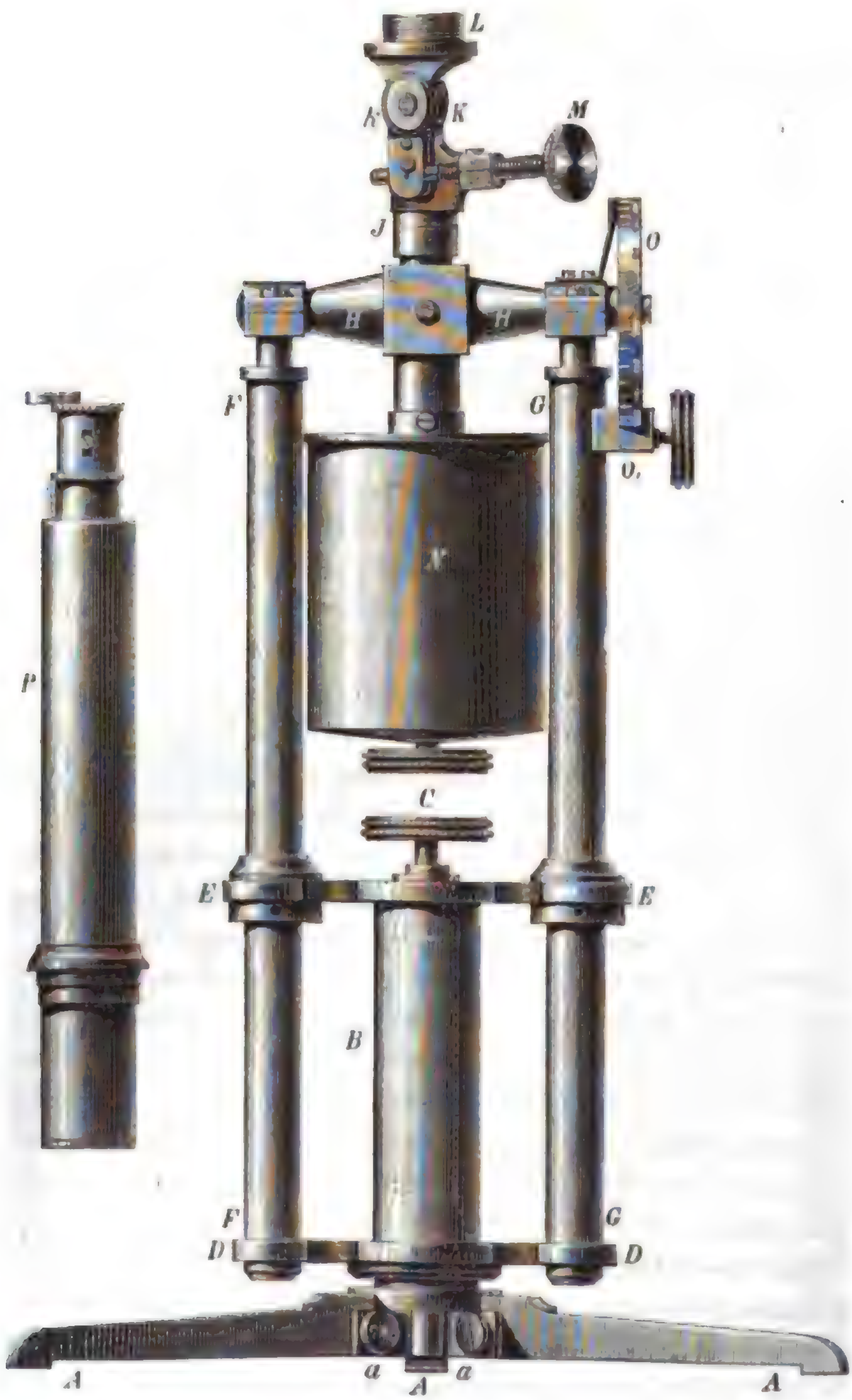
die Büchse qq für das Alhidadenprisma Q durch Schrauben so befestigt, dafs nur ein sehr schmaler Zwischenraum zwischen beiden Prismen bleibt. In Fig. 211. bilden die Hypotenusenebenen eine normale Lage zu einander, in Fig. 212. fallen sie in eine Ebene. Auch ist die Büchse qq so ausgeschnitten, dafs durch die Ausschnitte zwar in allen Lagen das nöthige Licht auf die Prismen gelangen kann, dagegen aber die farbigen und falschen Bilder abgehalten werden. Durch die Klemmschraube R eines Mikrometerwerks kann die grobe Bewegung der Alhidade gehemmt, durch die Mikrometerschraube S aber die feine Achsendrehung erreicht werden. Es kann demnach durch Lösung der Klemmschraube N_1 und durch Anziehung der Klemmschraube R, sowohl der Kreis und die Alhidade mit den Prismen zusammen, als auch nach Anziehung von N_1 und Lüftung von R, die Alhidade mit ihrem Prisma allein gegen das Fernrohr verstellt werden. Um die erstere Drehung zu mefsen, enthält der silberne Limbus des Kreises zwei Eintheilungen, nämlich die von 10 zu 10 Minuten ausgeführte Haupteintheilung, von welcher die beiden Verniers der Alhidade noch 10 Sekunden unmittelbar angeben, aber 5 Sekunden noch sicher schätzen lafsen und eine zweite am äufseren Rande von Grad zu Grad ausgeführte Theilung, zu welcher der Index auf einer kleinen zwischen Schraubenspitzen drehbaren und an der Hülse F befestigten Platte i_1 sich befindet.

Zum Schutz der Prismen dient die konische, mit Sammt ausgefütterte Stülpe T und zum Abhalten der Sonnenstrahlen aufser dem am Ocular des Fernrohrs drehbaren Sonnenglase i_2 noch verschiedenfarbige Blendgläser, deren Fafsungen vor das Objectiv des Fernrohr gesteckt werden können, zur Hälfte aber ausgeschnitten sind, wie durch U dargestellt wird.

§. 424.

Zu Beobachtungen aus freier Hand wird, wie schon erwähnt, der Handgriff *D* (Fig. 211.) mit der Büchse *A* verbunden und auch das daselbst dargestellte Fernrohr *J* angewandt. Kann aber dem Instrumente unter obwaltenden Umständen eine feste. Unterlage gegeben werden, so dient dazu das in Fig. 213. im Drittel wahrer

Fig. 213.



Gröfse dargestellte Metallstativ, welches nicht allein nur einen kleinen Aufstellungsraum fordert, sondern auch zusammengeschlagen keinen grofsen Kasten zum Transport fordert und deshalb auch leicht von dem reisenden Geographen oder Astronomen mitgeführt werden kann.

Den Fufs des Stativs bilden drei um Charniere *aa* bewegliche Arme *AAA*, welche in der Zeichnung als aus einander geschlagen dargestellt sind, und dem beweglichen Obertheil zur Grundlage dienen. Um zwei Konus der von dem Mittelstück der Arme ausgehenden Verticalachse läfst sich die cylindrische Büchse *B* drehen und durch die Klemmschraube *C* die Drehung moderieren. Mit den Enden der Büchse sind zwei Platten *DD*, *EE* verbunden, an deren Enden cylindrische Säulen *FF*, *GG* festgeschraubt sind und deren obere Enden in cylindrischen Lagern die Zapfen einer Rotationsachse *HH* aufnehmen und durch übergelegte Kappen festgehalten werden. Der von dem Würfel der Umdrehungsachse nach Oben ausgehende Cylinder *J* erweitert sich zu einer schief gegen die Projectionsfläche stehenden starken Platte *K*, an deren oberem Ende ein Charnier *k* sich befindet, dessen eine Backe den mit einem Schraubengewinde versehenen Hals *L* trägt, auf welchen die Büchse *A* (Fig. 212.) des Prismenkreises geschraubt werden kann. Eine seitlich angebrachte Differenzialschraube *M* mit Klemmen dient zur mikrometrischen Bewegung. Der an der entgegengesetzten Seite des Würfels angebrachte, mit Blei ausgegofsene Cylinder *N* dient zur Balancierung des aufgeschraubten Instruments.

Durch den in Grade eingetheilten Trommelkreis *O*, für dessen Eintheilung die zugehörige Kappe die zwischen Schraubenspitzen dreh- und verstellbare Indexplatte enthält, kann die Lage des Prismenkreises gegen den Horizont erkannt werden. Die mit der Klemmschraube verbundene Klemme O_1 dient zur Feststellung des Apparats in einer bestimmten Lage.

In der Verbindung des Apparats mit dem Stativ wird das in Fig. 211. angebene Fernrohr *N* mit dem in Fig. 213. dargestellten gröfseren *P* vertauscht.

Die Berichtigung des Prismenkreises.

§. 425.

Selbstverständlich fallen die Untersuchungen, die sich bei den vorhergehenden Reflexionsinstrumenten auf die Spiegel an sich bezogen, hier weg, so wie die Untersuchungen über die richtige Theilung des Limbus und der Verniers, über die parallele Lage der Visierlinie des Fernrohrs gegen die Kreisebene, über die Blendgläser und die Bestimmung des Indexfehlers hier sich wiederholen.

Die Hauptuntersuchung wird sich auf die parallele Lage der Achse der Prismen mit der Drehungsachse des Instruments erstrecken, wobei auch zugleich sich ergeben wird, ob die Seitenflächen derselben genau eben sind. Hierzu dient der in Fig. 214. ebenfalls im Drittel wahrer Gröfse dargestellte Hülfsapparat, der

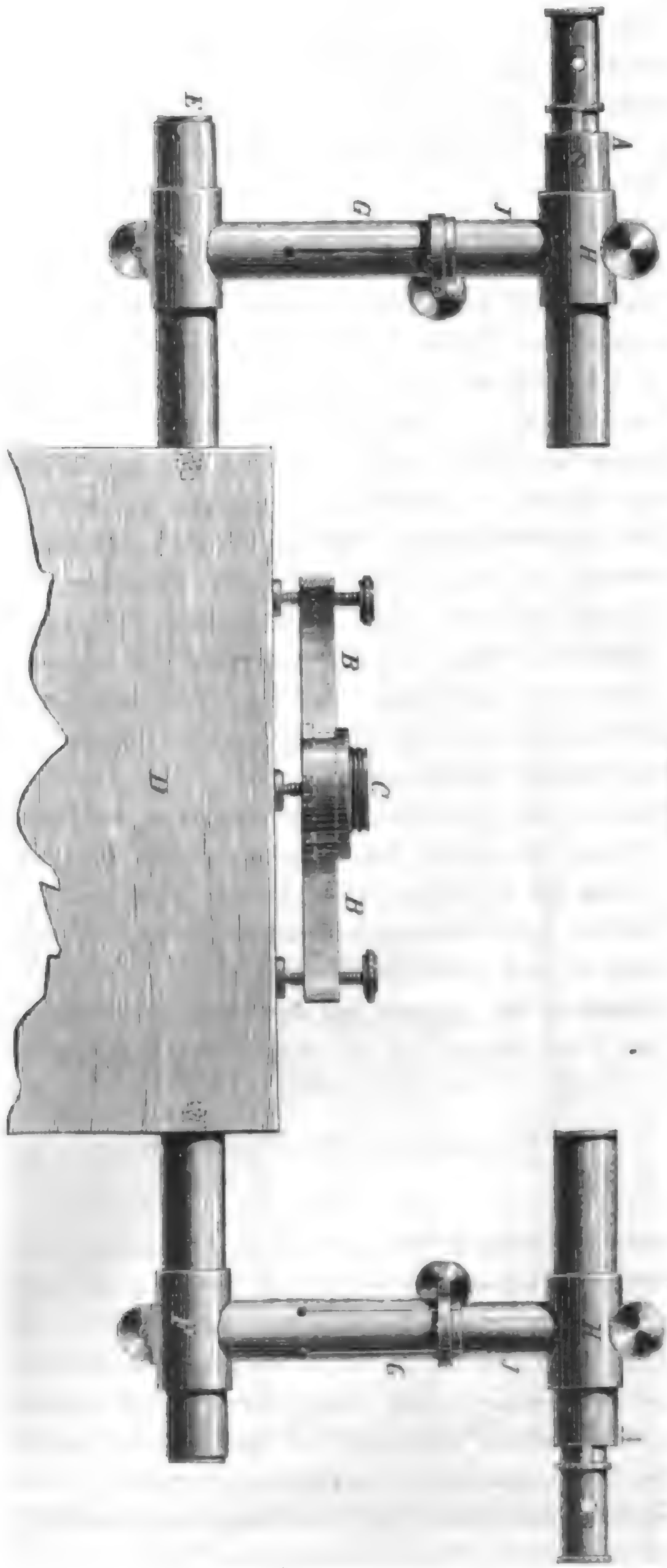


Fig. 214.

aus zwei identischen, mit Fadenkreuzen versehenen Hülfsfernröhren $A\,A$ und einem kleinen stählernen Dreifuſs $B\,B$ besteht, auf dessen in der Mitte sich befindenden Ansatz C die Büchse A (Figg. 211. und 212.) des Instruments befestigt wird. Die Unterlage des letzteren bildet ein parallelepipedischer Holzkasten D von fast 10 Zoll Länge und Breite und 9 Zoll Höhe, in welchem auch zugleich, mit Ausnahme des im vorigen Paragraphen beschriebenen Stativs, der Prismenkreis nebst Zubehör, so wie auch die erwähnten Hülfsfernröhre und Dreifuſs zum Transport bequem verpackt werden können. Die Stütze jedes Hülfsfernrohrs bildet ein massiver Cylinder E, der in die Seitenwand des Kastens geschraubt wird. An ihm läſst sich an geeigneter Stelle eine mit einer Klemmschraube versehene und eine zweite Hülse G tragende Hülse F befestigen. In der Hülse G ist wieder ein, eine dritte Hülse H tragender Cylinder J in verticaler Richtung verschiebbar und durch den umliegenden, mit einer Klemmschraube versehenen Ring festzustellen, während das Fernrohr A in der Hülse H mittelst ihrer Klemmschraube zu befestigen ist.

Der Dreifuſs steht auf Unterlegscheibchen mit seinem Mittelstück in der Mitte der quadratischen Oberfläche des Kastens, welche durch eine kreisförmige Messingscheibe bezeichnet ist. Die Cylinder $E\,E$ sind so an die Seitenwände des Kastens eingeschraubt, daſs man den Visierlinien der Fernröhre eine durch die Umdrehungsachse des auf dem Dreifuſse befestigten Prismenkreises gehende Richtung geben kann. Durch Verschiebung der Cylinder $J\,J$ in ihren Büchsen $G\,G$ kann daher auch den Fernröhren in verschiedenen Abständen vom Kasten eine Lage gegeben werden, daſs ihre Collimationslinien eine Gerade bilden.

§. 426.

Nachdem nun die Oculare der Hülfsfernröhre für parallele Lichtstrahlen eingestellt sind, bringt man ihre Fadenkreuze zur Coincidenz und den auf dem Dreifuſse $B\,B$ befestigten Prismenkreis über der kreisförmigen Scheibe des Kastens in eine solche Stellung, daſs sein Fernrohr eine normale Lage zu den Visierlinien der Hülfsfernröhre hat.

Um nun zunächst die richtige Stellung des Kreisprisma's zu untersuchen, bringt man, nachdem beide vorher in einer dem Kreisprisma entsprechenden Höhe eingestellt waren, das Bild des Fadenkreuzes des einen Hülfsfernrohrs, welches auf einer der brechenden Ebenen des Prisma's unvollständig reflectiert erscheint, an das Fadenkreuz des Hauptfernrohrs und dreht nun den Kreis, bis auch das von der anderen brechenden Ebene erzeugte Bild des Fadenkreuzes desselben Hülfsfernrohrs in das Hauptfernrohr gelangt. Zeigt sich dasselbe nun ebenfalls am Fadenkreuze des letzteren, so haben beide brechende Ebenen gleiche Neigung gegen die Drehungsachse des Prismenkreises. Bei einer Abweichung dagegen wird die fehlerhafte Stellung durch die entsprechenden Correctionsschräubchen $\beta\,\beta$ (Fig. 211.) verbeſsert. Nun bringt man auch das von

der spiegelnden Hypotenusenebene total reflectierte Bild des Fadenkreuzes des Hülfsfernrohrs, durch fortgesetzte Drehung des Kreises, in das Hauptfernrohr und bewirkt die Coincidenz desselben mit seinem Fadenkreuze durch die zu jener Ebene gehörige Correctionsschraube β. Durch diese zweifache Drehung des Kreises, indem man zuerst das unvollständig und dann das total reflectierte Bild an das Fadenkreuz des Hauptfernrohrs bringt, erlangt man den Vortheil, einen Fehler im Parallelismus der Hypotenusenebene mit der Drehungsachse in doppelter Gröfse zu erkennen und dadurch schärfer wegzuschaffen. Das Verfahren wird noch vereinfacht durch Anwendung der Fadenkreuze beider Hülfsfernröhre, wenn man denselben vorher die oben angegebene Lage gegeben hatte.

Dieselbe Untersuchung und etwaige Berichtigung nimmt man dann noch am Alhidadenprisma vor.

Durch die Anwendung der beiden Hülfsfernröhre kann man auch leichter die etwaige nicht parallele Lage seiner Visierlinie gegen die Kreisebene erkennen, als es durch das im §. 409. 2. angegebene Verfahren möglich ist.

Die Reflexions- oder künstlichen Horizonte.

§. 427.

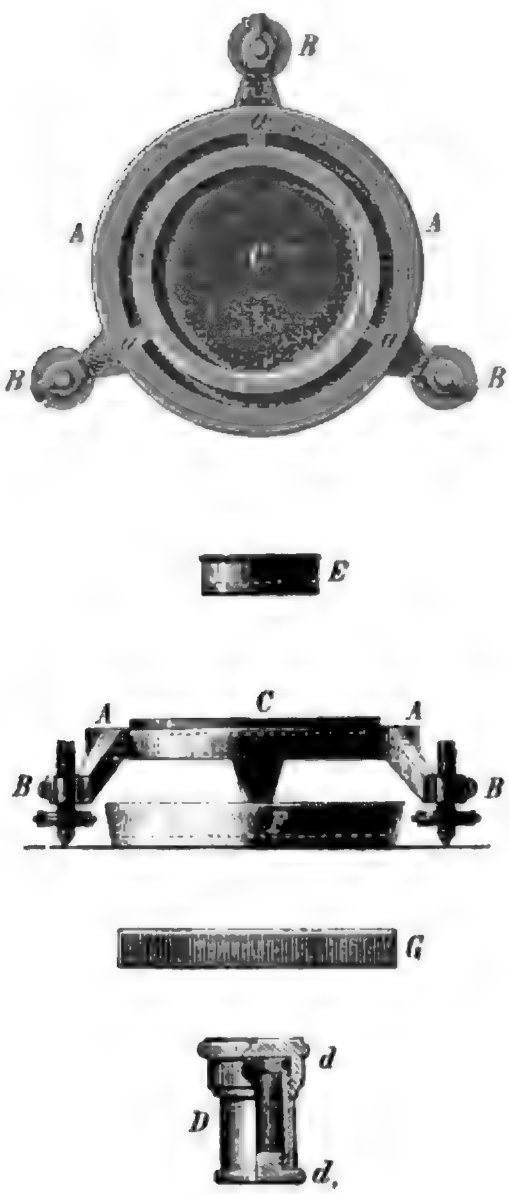
Die Anwendung der Reflexionsinstrumente bei der Mefsung schiefliegender Winkel bedarf keiner weiteren Hülfsapparate, da die Instrumentebene immer in die Ebene der Winkelschenkel zu bringen ist. Bei der Mefsung der Höhenwinkel dagegen sind fast immer nur zwei in dem einen Winkelschenkel liegende Punkte gegeben, während ein zweiter Punkt des anderen (horizontalen) Winkelschenkels immer erst so zu bestimmen sein wird, dafs er in der durch den schiefliegen Schenkel gedachten Verticalebene liegt. Während nun dazu der Nautiker sich der Oberfläche des offenen Meeres bedient, wird man bei Höhenmefsungen auf dem Festlande künstliche Horizonte anwenden müfsen, wovon es verschiedene Arten giebt.

1. Ein leicht herstellbarer und in den meisten Fällen auch recht brauchbarer Horizont ist der Oelhorizont.

Zum Gefäfs dient eine Büchse von Blech von 3 bis 5 Zoll Durchmefser und einigen Linien Höhe, mit einem genau schliesenden Deckel versehen. Man füllt sie fast bis zum Rande mit einer dickflüfsigen Masse aus gutem, alten Olivenöl, dem man bei tüchtigen Umrühren allmählig einige Theelöffel voll Kienrufs zusetzt und dann durch mäfsig dicht gewebte Leinwand filtriert. Man erhält dadurch eine vortrefflich reflectierende Oberfläche, welche wegen ihrer Klebrigkeit auch leichten Luftbewegungen recht gut widersteht. Um bei diesem Horizonte sich vor Beschmutzung zu sichern, wird die erwähnte Büchse wohl noch von einer zweiten, ebenfalls sorgfältig schliefsenden umgeben.

2. Zu den Quecksilberhorizonten mufs nicht allein ein chemisch reines, sondern auch ein von dem grauen Quecksilberoxyd befreites Quecksilber genommen werden. Letzteres erhält man dadurch, dafs man es durch einen sehr engen Trichter von starkem Papier giefst. Zum Gefäfs nimmt man Eisen, Porzellan, Serpentin oder Biscuit. Um das selbst schon bei mäfsigem Luftzuge eintretende Zittern der Oberfläche zu verhindern, versieht man die Gefäfse wohl mit einem aus dünnen Glasscheiben zusammengesetzten Dache. Oder man legt auf die Quecksilberoberfläche eine Glasscheibe oder ein Glimmerblatt. Das Quecksilber bietet eine ruhige Oberfläche dar, wenn man zur Unterlage eine flache Kugelcalotte von Kupfer nimmt, die vorher mit salpetersaurem Quecksilber angequickt wird. Eine reine Oberfläche erhält man, wenn man unmittelbar vor dem Gebrauche den Horizont mit etwas übergofsenem Quecksilber abspült.

Fig. 92.

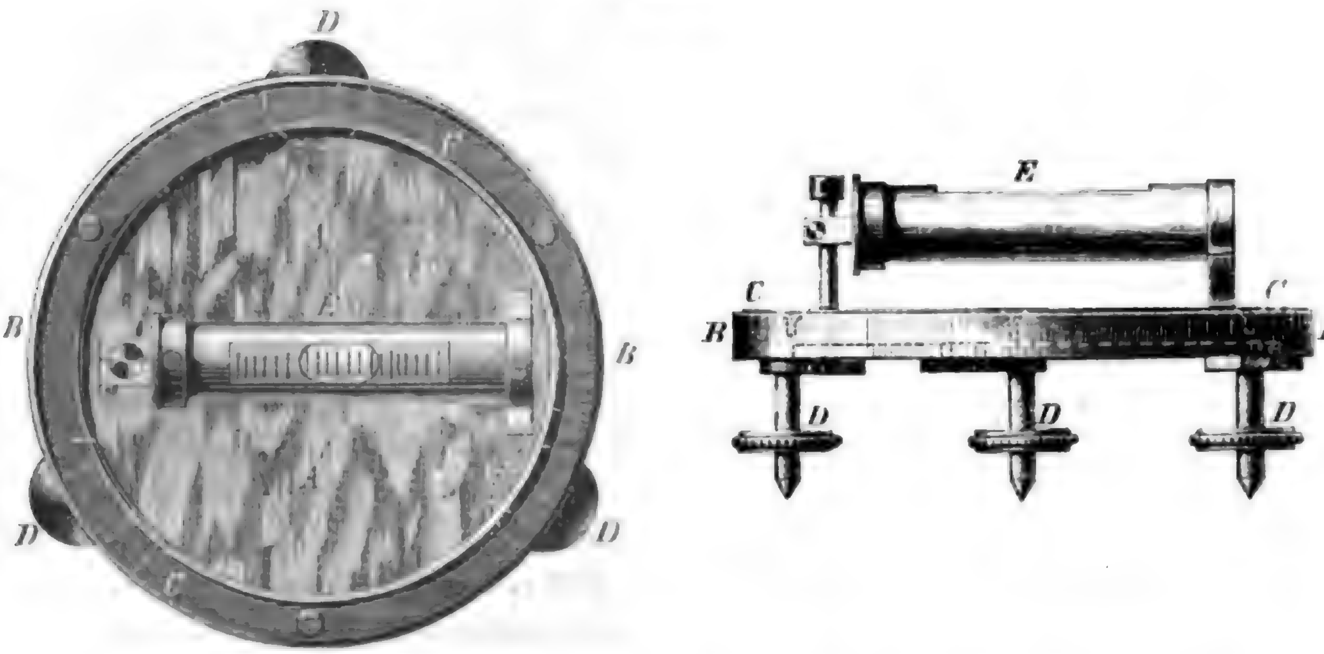


Weit weniger ist aber ein Quecksilberhorizont den Erschütterungen in der Oberfläche ausgesetzt, wenn man Statt des reinen Quecksilbers ein Amalgam aus Quecksilber und Zinn, und dabei dann den in Fig. 92. dargestellten Apparat anwendet, worüber noch §. 163. zu vergleichen ist.

3. Der Glashorizont besteht aus einer runden, dicken, auf der unteren Fläche matt geschliffenen, oder mit einer dunklen harzartigen Masse überzogenen, auf der oberen Fläche aber fein polierten Glasplatte, so dafs von dieser das geforderte Bild eines Objects reflectiert wird. Diese Glasplatte wird mit einer mit drei Stellschrauben versehenen Unterlage von Holz, Metall, Serpentin u. s. w. versehen, um sie mittelst einer feinen Röhrenlibelle horizontal stellen zu können.

Bei dem in Fig. 215. in halber wahrer Gröfse im Grund- und Aufrifs dargestellten Glashorizonte bezeichnet A das in dem Ringe $B\,B$ liegende und mit der Ringplatte $C\,C$ bedeckte Glas, welches auf seiner Unterfläche einen dicken,

Fig. 215.



undurchsichtigen, harzartigen Ueberzug hat. Mittelst der drei Stellschrauben *D D D* und der aufgesetzten als berichtigt angenommenen Röhrenlibelle *E* kann die Oberfläche des Glases genau horizontal gestellt werden.

Andere Horizonte von Weingeist oder Wafser in dazu geeigneten Gefäfsen sind im Freien nur bei vollkommener Windstille anzuwenden und daher im Allgemeinen wenig in Gebrauch.

Der Gebrauch der Reflexionsinstrumente zu Winkelbestimmungen.

A. Mefsung der schiefliegenden Winkel.

§. 428.

1. Mefsung eines schiefliegenden Winkels mittelst des Sextanten.

Es sei *P* das links-, *Q* das rechtsliegende zweier terrestrischer Objecte und *O* der Standort des Beobachters, also *P O Q* der zu mefsende schiefliegende Winkel. Da die Eintheilung des Bogens, vom Mittelpunkte aus betrachtet, immer von Links nach Rechts wachsend beziffert ist, so bestimme man nach §. 410. für das linksliegende Object *P* die Gröfse des Indexfehlers mit dem entsprechenden Vorzeichen. Alsdann halte man den Sextanten an seinem Handgriffe so in der rechten Hand, dafs seine Ebene durch die der Winkelschenkel geht, richte, durch Drehung des Instruments, das Fernrohr auf das linksliegende Object *P* und drehe die Albidade mit der linken Hand so weit längs der Eintheilung herum, bis unter dem dioptrischen Bilde des linksliegenden Objects, durch den unbelegten Theil des kleinen Spiegels an dem senkrechten Faden des Fernrohrs das katoptrische

Bild des rechtsliegenden Q erscheint. Darauf hemme man die grobe Bewegung und bringe durch Anwendung der Mikrometerschraube beide Bilder genau zur Deckung, d. h. dafs beide dicht unter einander an dem erwähnten Faden liegen, so giebt der Index des Verniers, nach Verbefserung des Indexfehlers, die Gröfse des gegebenen Winkels POQ an.

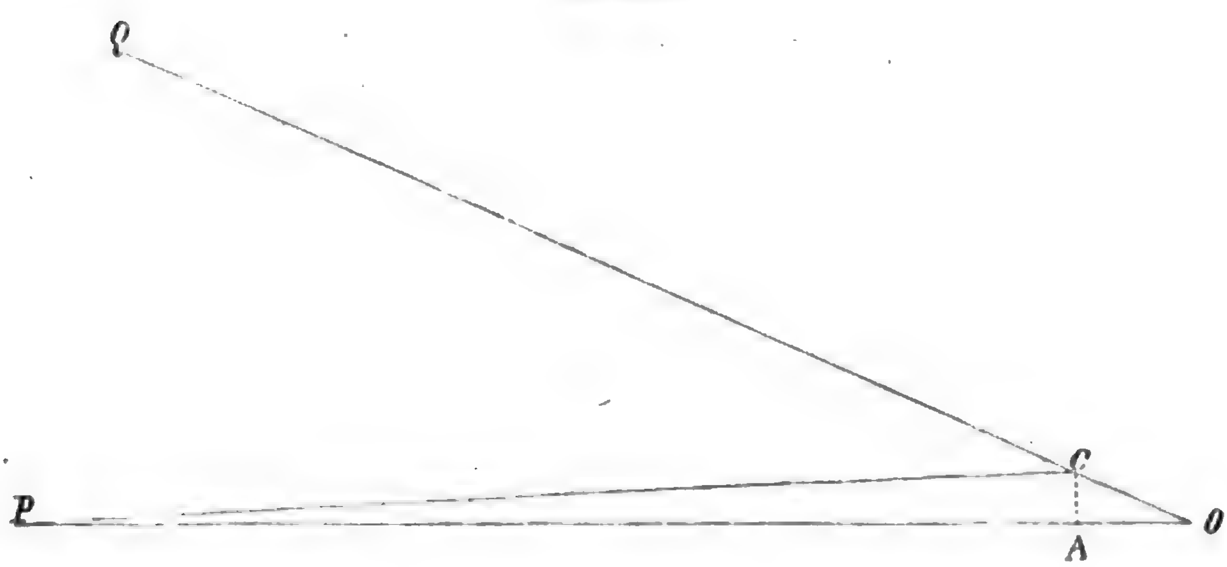
Dem Anfänger wird die Coincidenz der Bilder der beiden Objecte wegen der etwaigen ungleichen Beleuchtung weniger Schwierigkeiten machen, wenn er anfangs das astronomische Fernrohr mit dem einfachen Rohr vertauscht, oder auch nur mittelst Durchsehens längs der Achse des Ringes des Fernrohrs die Alhidade so weit vorwärts bewegt, bis beide Bilder sich beinahe berühren, dann die Klemmschraube des Mikrometerwerks anzieht und nun erst durch Anschrauben des Fernrohrs die genaue Coincidenz der Bilder bewirkt. Sollte das eine Bild dabei zu schwach beleuchtet erscheinen, so wird man durch Heben oder Senken des Fernrohrträgers die nöthige Helligkeitsabänderung bewirken können.

§. 429.

Der nach dem vorigen Paragraphen erhaltene Winkelwerth bedarf aber in den meisten Fällen noch einer Correction.

Ist nämlich in Fig. 216. C der Drehungspunkt der Alhidade, O der Ort des Auges oder der Scheitelpunkt des Winkels, so erhält man durch Ablesung auf

Fig. 216.



dem Limbus nicht den Winkel POQ, sondern PCQ. Da aber

$$PCQ = POQ - CPO$$

ist, so erhält man den gesuchten Winkel um CPO zu grofs, welchen Winkel man die **Parallaxe** oder die **Schiefenparallaxe** des Sextanten zu nennen pflegt, und der offenbar von der Entfernung e des linksliegenden Objects und

dem Abstande a des Drehungspunktes der Alhidade von der Fernrohrachse abhängt. Da aber

$$\text{tg}\, P = \frac{a}{e},$$

so läfst sich leicht für das angewandte Werkzeug eine Tafel anfertigen. Für $a = 0{,}02$ Ruthen ist

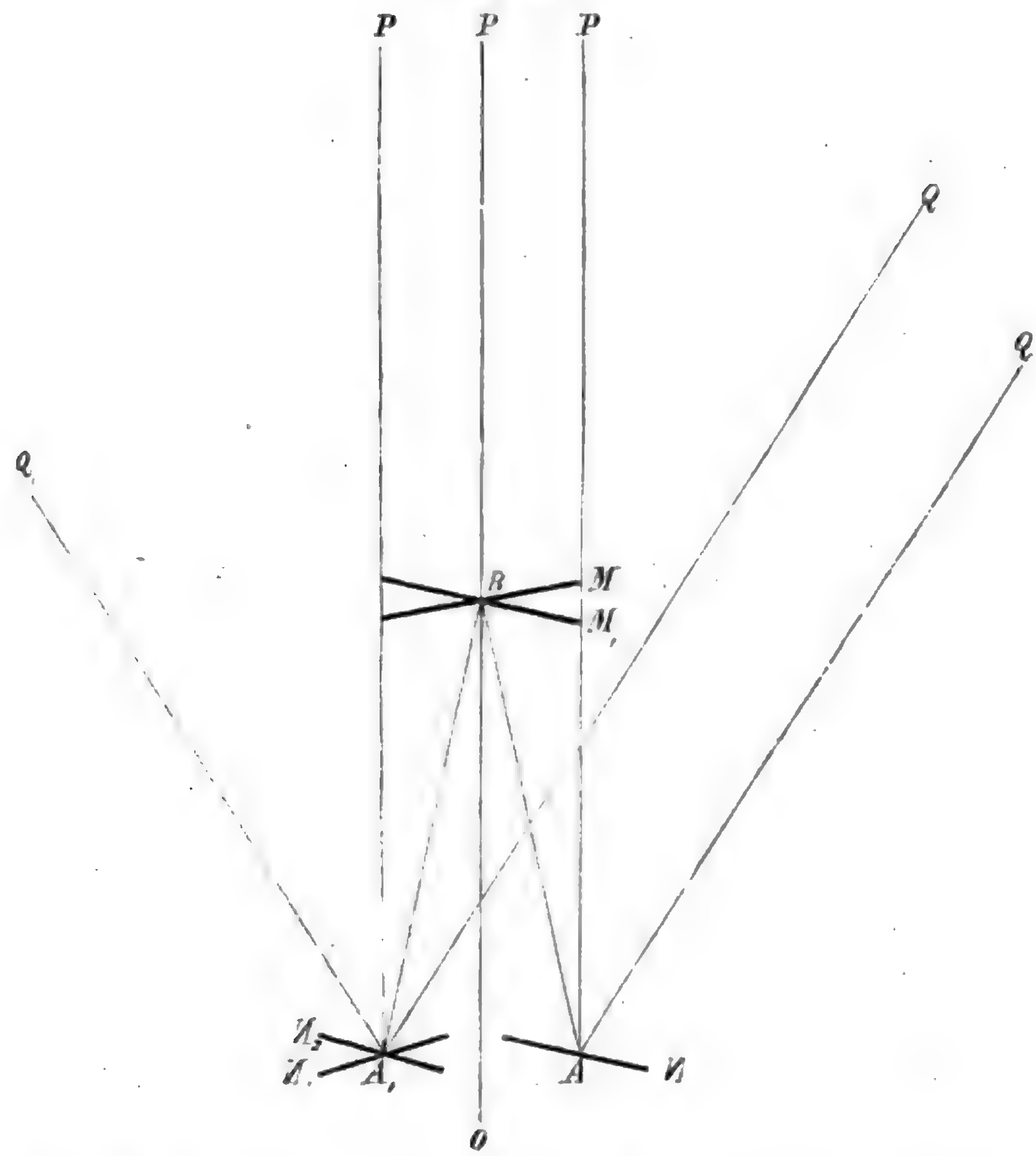
für	$e =$	50	Ruthen	die	Parallaxe	68	Sekunden,
„	$e =$	60	„	„	„	57	„
„	$e =$	70	„	„	„	49	„
„	$e =$	80	„	„	„	43	„
„	$e =$	90	„	„	„	38	„
„	$e =$	100	„	„	„	34	„
„	$e =$	150	„	„	„	23	„
„	$e =$	200	„	„	„	17	„
„	$e =$	300	„	„	„	12	„
„	$e =$	400	„	„	„	9	„
„	$e =$	500	„	„	„	7	„
„	$e =$	1000	„	„	„	3	„

§. 430.

2. Mefsung eines schiefliegenden Winkels mittelst des in Figg. 199. und 200. dargestellten Spiegelkreises.

Man bringt den Index des Verniers der Alhidade $Q\,R$ des grofsen Spiegels, durch Anwendung des zugehörigen Mikrometerwerks, auf den Nullpunkt des Limbus, so ist die Alhidade dadurch an den Kreis geschlofsen. Indem nun, das Instrument mit der rechten Hand an dem Handgriff gehalten, der Limbus nach Oben gerichtet bleibt, dreht man die Alhidade $E\,F$ des kleinen Spiegels so weit, bis das durch den unbelegten Theil desselben direct gesehene Bild des linksliegenden Objects P mit dem katoptrischen des rechtsliegenden Q coincidiert, wobei durch Anwendung des zugehörigen Mikrometerwerks auch die letztere Alhidade an den Kreis geschlofsen ist. Nun kehrt man das Werkzeug um, dafs der Limbus nach Unten gerichtet ist und richtet das Fernrohr wieder auf P. Ist nun in Fig. 217. O der Ort des Auges, M die Lage des kleinen Spiegels in der ersten Stellung des Kreises, N die des grofsen Spiegels und A der Mittelpunkt des Limbus, so wird bei der umgekehrten Lage des Instruments beziehungsweise M_1 und N_1 die Lage des kleinen und grofsen Spiegels und A_1 die Lage des Mittelpunkts sein, so dafs also die Lage der Spiegel gegen die Richtung $O\,P$ ungeändert geblieben ist. Wenn nun das rechtsliegende Object Q ebenfalls auf die entgegengesetzte Seite nach Q_1 zu liegen käme, so dafs $Q_1\,A_1\,P = Q\,A\,P$ wäre, so würde der von dem rechtsliegenden Objecte kommende, zum zweiten Male reflectierte Strahl wieder in der Richtung $O\,P$ wahrgenommen werden. Da

Fig. 217.



aber die Lage der Objecte dieselbe bleibt und der von Q kommende Strahl, eine QA parallele Richtung QA_1 annimmt, so mufs, damit der reflectierte Strahl die Richtung BA_1 behält, um vom Auge O in der Richtung OB wahrgenommen zu werden, nach §. 401. 3. der Spiegel N_1 um einen Winkel $N_2 A_1 N_1 = P A_1 Q$ d. h. um den Winkel der beiden Objecte gedreht werden. Der von dem Index des Verniers auf dem Limbus abgeschnittene Bogen ist daher das Mafs des gegebenen Winkels.

Nimmt man also die vorige Operation nochmals vor, indem man dem Werkzeuge wieder die erste Stellung giebt, dafs nämlich der Limbus nach Oben gerichtet ist, läfst die Albidade QR des grofsen Spiegels unverrückt, dreht dafür aber die Alhidade EF, bis die Bilder beider Objecte coincidieren; kehrt darauf den Limbus nach Unten und dreht wieder die Alhidade des grofsen Spiegels bis zur Coincidenz der Bilder, so wird der Index des Verniers einen Bogen abschneiden, der dem doppelten des gegebenen Winkels POQ gleich ist u. s. f.

Es mufs noch bemerkt werden, dafs wenn man das linksliegende Object zum direct beobachteten macht, bei der zweiten Drehung der Alhidade QR der Index des Verniers gegen die Theilung sich bewegt, also die zweite Ablesung von der ersten abgezogen werden mufs. Vertauscht man aber die Objecte mit einander, so wird die zweite Ablesung gröfser als die erste. Da nun bei gehöriger Fortsetzung dieser Methode der Winkelbestimmung der Index allmälig den ganzen Limbus durchläuft, so ist klar, dafs dadurch nicht allein die Theilungsfehler verkleinert werden, sondern auch der Excentricitätsfehler, wenn auch auf andere Art als bei zwei diametral gegenüberstehenden Verniers, als eliminiert zu betrachten sein wird.

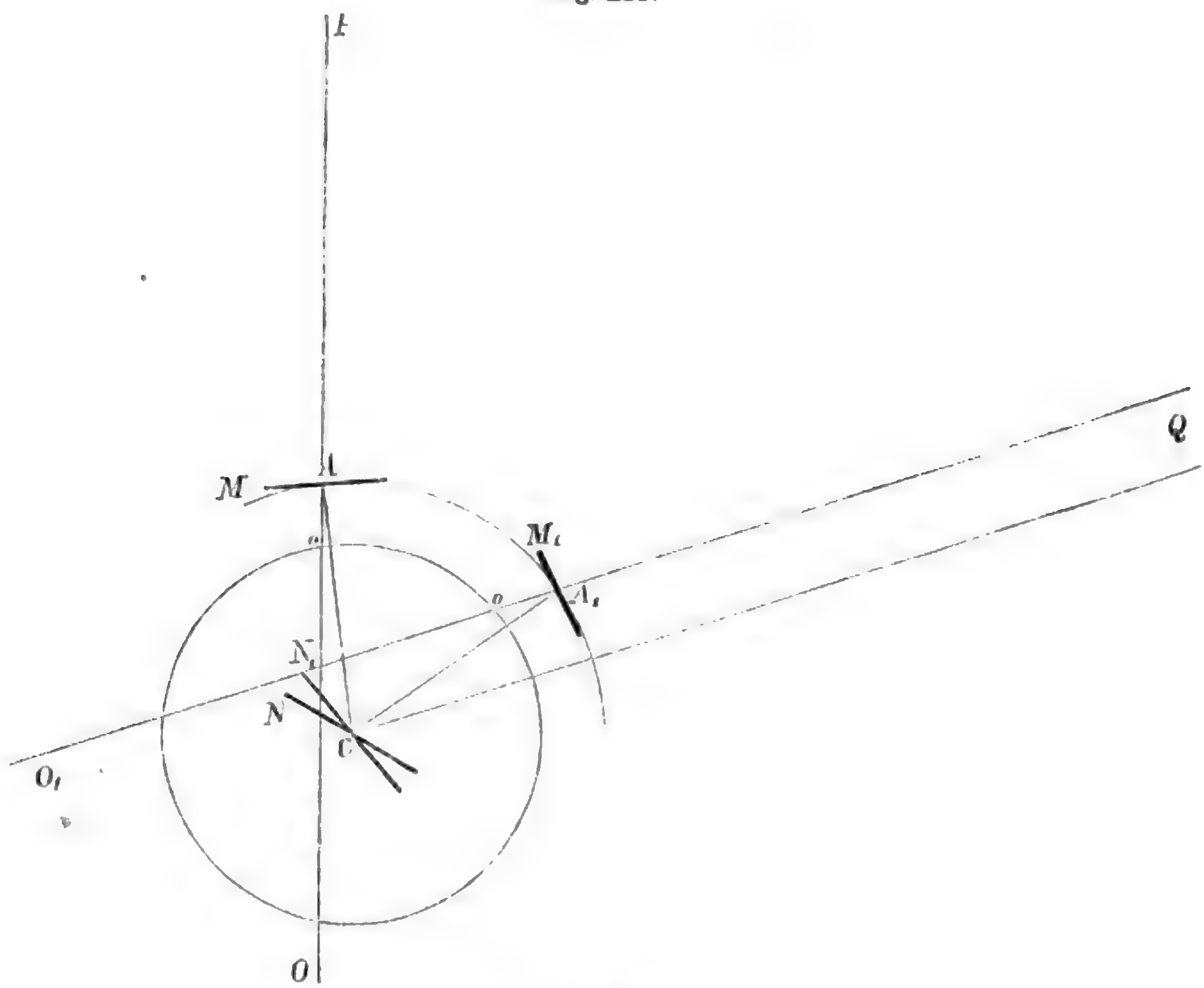
§. 431.

Einfacher und zugleich bequemer ist aber das folgende Verfahren. Man stellt den Index des Verniers der Alhidade EF des kleinen Spiegels ungefähr auf den Nullpunkt des Limbus, wobei man der späteren leichteren Subtraction wegen nur darauf zu achten hat, dafs derselbe nicht zwischen 719^0 und 0^0, sondern zwischen 0^0 und 1^0 oder 2^0 liegt, bestimme unter Anwendung der Handloupe genau den Stand a des Verniers und bringe durch Drehung der Alhidade QR das katoptrische Bild des rechtsliegenden Gegenstandes mit dem direct gesehenen linksliegenden Object zur Coincidenz, wodurch also die Alhidade an den Kreis geschlofsen wird. Darauf löst man die Alhidade EF und bringt durch Drehung derselben das dioptrische Bild des rechtsliegenden Objects mit dem durch den grofsen Spiegel erzeugten katoptrischen Bilde desselben ebenfalls zur Coincidenz, liest darauf den Stand b des Verniers der Alhidade EF ab, so ist $b-a$ dem Mafs des gegebenen schiefliegenden Winkels gleich, da auf dem Limbus die halben Grade für ganze gelten.

Denn es sei in Fig. 218. M die Lage des kleinen, N die des grofsen Spiegels bei dem Einrichten des Fernrohrs auf das linksliegende Object P, OA daher die Richtung des direct beobachteten, CA die Richtung des von Q ausgehenden reflectierten Strahls, der ebenfalls in der Richtung AO ins Auge gelangt. Bei der Drehung der Alhidade EF nach dem rechtsliegenden Gegenstande Q wird M in die Lage M_1 kommen, durch die gleichzeitige Drehung des Kreises um seinen Mittelpunkt wird N, damit der von ihm auf M_1 reflectierte Strahl QC in der Richtung O_1A_1 gesehen wird, um den Winkel $NCN_1 = \frac{1}{2}ACA_1$ gedreht werden müfsen, so dafs $b-a = PCQ$ ist (§. 401. 2.).

Sieht man nun den Punkt b, auf welchem jetzt der Index des Verniers der Alhidade EF steht, wieder als den Nullpunkt an und wiederholt das vorhin angegebene Verfahren, so erhält man nach der zweiten, dritten . . . Einstellung und Ablesung für das Object Q, das zwei-, drei-, vier . . . fache des Winkels u. s. f.

Fig. 218.



§. 432.

3. Mefsung und Zeichnung eines schiefliegenden Winkels mittelst des in Fig. 201. dargestellten Spiegellineals.

Nach dem Einrichten des Rohrs *G* des Instruments auf das linksliegende Winkelobject und der Einstellung des Index des Verniers auf 0^0 bringt man mittelst der Mikrometerschraube *Q* das direct beobachtete Bild mit seinem katoptrischen zur Coincidenz, wodurch also der Indexfehler $= 0$ geworden ist. Nun dreht man das Lineal *K* so weit nach rechts, bis das katoptrische Bild des rechtsliegenden Gegenstandes mit dem direct beobachteten linksliegenden Objecte coincidiert, so ist, da die halben Grade des Limbus als ganze gelten, nach §. 401. 1. der am Vernier abgelesene Bogen des Limbus das Mafs des gegebenen Winkels. Zieht man längs der Kanten beider Lineale gerade Linien, so drücken diese die Schenkel des construierten Winkels aus, dessen Scheitelpunkt der Punkt *h* ist (§. 405.).

Anmerkung. Die Mefsung und graphische Darstellung eines gegebenen Winkels mittelst der in den Figg. 204. und 205. dargestellten Apparate dürfte nach dem darüber in §§. 412. und 413. Mitgetheilten keine Schwierigkeiten haben.

§. 433.

4. Mefsung eines schiefliegenden Winkels mittelst des Pistor-Martin'schen Spiegel-Prismenkreises.

Obgleich der Gebrauch des Spiegel-Prismenkreises im Allgemeinen auf den im §. 401. gegebenen Sätzen und der Erscheinung der totalen Reflexion (§§. 415. bis 417.) beruht, so wird doch durch die Stellung des Glasprisma's gegen den beweglichen Spiegel und gegen die unabänderliche Richtung der Visierlinie, in der Mefsung der Winkel von verschiedener Gröfse, wenigstens bis zu gewissen Grenzen hin, ein verschiedenes Verfahren bedingt.

Ist der Index des Verniers 1 auf den Nullpunkt der Limbuseintheilung oder auch nur auf dessen Nähe gestellt, so bildet, wie schon im §. 420. erwähnt wurde, die Indexlinie der Alhidade mit der Spiegelebene oder mit der Visierlinie des Fernrohrs einen Winkel von 20⁰. Wegen der hierdurch erfolgenden starken Zerstreuung des Lichts wird daher bei jener Lage der Alhidade das in das Fernrohr gelangende Licht nur eine geringe Helligkeit besitzen, die aber aus dem entgegengesetzten Grunde bei dem Wachsen der Winkel im Allgemeinen sich wieder erhöhen wird.

Soll nun die Gröfse eines gegebenen spitzen Winkels gemefsen werden, so ist das dabei anzuwendende Verfahren dem beim Sextanten angewandten gleich, nur dafs mit dem in Rede stehenden Apparate der Winkel frei von der etwaigen Excentricität sich ergiebt.

Bezeichnet α_1 und α_2 den Stand des Verniers 1 und 2 beim Einstellen des Spiegels auf das linksliegende Object, a_1 und a_2 den Stand derselben auf das rechtsliegende, so ist das Mafs des Winkels $= \frac{(a_1 + a_2) - (\alpha_1 + \alpha_2)}{2}$.

Kehrt man das Instrument um, so dafs der Limbus nach Unten gerichtet ist, und betrachtet nun das rechtsliegende Object als das direct gesehene, so erhält man ein zweites Resultat.

Auf dieselbe Weise wird auch die Gröfse der Winkel bis zu 130^0 bestimmt, indem in diesem Falle die von dem rechtsliegenden Objecte ausgehenden Lichtstrahlen auf den Spiegel unter einem Winkel von $\frac{130^0}{2} + 20^0 = 85^0$ fallen, d. h. in einer Richtung, welche den cylindrischen Fufs des Prisma's berührt, so dafs letzteres, aufserdem auch noch der vordere Theil des Fernrohrs die Lichtstrahlen von Objecten, die einen noch gröfseren Winkel als 130^0 mit dem linksliegenden Object bilden, nicht mehr auf den Spiegel gelangen läfst. Ist der Winkel zu 180^0 geworden, so bildet zwar das Prisma nicht mehr, dann aber der Kopf des Beobachters dasselbe Hindernifs, so dafs in diesem Falle nur ein kleines gleichschenklicht-rechtwinklichtes Prisma, welches man vor die Ocularröhre des Fernrohrs steckt, die Beobachtung gestattet. In diesem Falle kann daher der Apparat auch zur Auffindung eines Punktes in einem gegebenen Alignement auf die-

selbe Weise benutzt werden, wie das Prismenkreuz von Bauernfeind (§. 451.) dazu dient.

Wendet man aber den Spiegel-Prismenkreis, nöthigenfalls in der linken Hand gehalten, in umgekehrter Lage an, so dafs der Limbus dem Erdboden zugekehrt ist, und nimmt man dafür den rechtsliegenden Gegenstand als den direct gesehenen, das reflectierte Bild also von dem linksliegenden, so ist nun auch die Mefsung von Winkeln zwischen 130° und 180° und zwischen 180° und 280°, oder, da bei der umgekehrten Lage des Instruments die Drehung der Alhidade nach entgegengesetzter Lage erfolgt, bis zu 100° auf dem Limbus gestattet. Zugleich ergiebt sich hieraus, dafs die zwischen 100° und 130° liegenden Winkel doppelt gemefsen werden können, indem man ein Mal das linksliegende, das andere Mal aber das rechtsliegende Object als das direct beobachtete annimmt.

Anmerkung. Wenn mit dem Pistor'schen Spiegelprismenkreise Winkeldistanzen zwischen terrestrischen Objecten in Gebirgsgegenden gemefsen werden, so werden zur Reduction derselben auf den Horizont wenigstens angenäherte Werthe der Zenithdistanzen der beobachteten Punkte erfordert, indem Höhenwinkel, welche kleiner als 16 Grad sind, mit Hülfe des Reflexionshorizonts nicht in gewöhnlicher Weise bestimmt werden können. Zur Bestimmung solcher Zenithdistanzen bediente sich Dr. Moritz *) bei seinen Mefsungen im Kaukasus eines offenen Oculars (Fig. 94.) und zweier unter dem Fernrohre angebrachter s. g. Suchniveau's, indem zwischen das Fernrohr und seinen Träger eine Messingplatte eingesetzt war, welche durch einen Stellstift und die Schraube des Trägers unveränderlich gehalten und auf welcher die beiden Suchniveau's, das eine in paralleler, das andere in senkrechter Lage zur Limbusebene, angebracht waren.

Zur Bestimmung der Zenithdistanz ertheilt Dr. Moritz a. a. O. folgende Vorschrift. Man bringt die drei gleichweit von einander entfernten Horizontalfäden des Fadennetzes in eine der Drehungsachse des Spiegels parallele Lage, berichtigt das Instrument bei verticaler Stellung der optischen Axe des Fernrohrs, indem man durch Drehen des Spiegels das Fadennetz in Coincidenz mit seinem Spiegelbilde bringt und bestimmt den Indexfehler. Darauf richtet man das Fernrohr senkrecht gegen den Horizont und bringt durch Hin- und Herneigen des Instruments die beiden Suchniveau's zum Einspielen, welches, während das rechte Auge das reflectierte Bild des beleuchteten Theils des Fadennetzes sieht, mit dem linken Auge leicht wahrgenommen werden kann. Zur Beleuchtung des Fadennetzes dient ein Illuminator, ein kleiner Metallspiegel, der zwischen der Ocularlinse und der Fadennetzplatte sich befindet. (Fig. 94.)

Bringt man darauf das Bild des mittleren Fadens in die Mitte zwischen die beiden anderen Fäden, so ist dadurch der Nadirpunkt fixiert. Dreht man nun

*) Schumacher's astronomische Nachrichten. Band 50. S. 263.

die Fläche des Kreises in das Azimuth des Objects, ohne die Coincidenz der Fäden zu stören und läfst das vom Spiegel und Prisma reflectierte Bild des Objects mit dem Mittelstriche zusammenfallen, so ist die Ablesung auf dem Kreise, verbefsert um den Indexfehler und die terrestrische Refraction, die halbe Zenithdistanz des Objects. Es ist noch zu bemerken, dafs bei dem erwähnten Verfahren der mittlere Faden nur wenig über die untere, vom Illuminator beleuchtete Hälfte des Gesichtsfeldes hervorragt, während die beiden anderen Fäden sich in der oberen Hälfte befinden.

§. 434.

5. Mefsung eines schiefliegenden Winkels mittelst des Steinheil'schen Prismenkreises.

Auch beim Gebrauch des Steinheil'schen Prismenkreises werden nicht nur die im §. 401. angegebenen Sätze, sondern auch die in den §§. 415. bis 417. angegebenen Sätze über die totale Reflexion angewandt. Indessen gestattet doch die eigenthümliche Einrichtung dieses Apparats eine zweifache Anwendung desselben zu Winkelbestimmungen, indem das unbewegliche Fernrohr entweder, wie bei den anderen Reflexionsinstrumenten, in der gewöhnlichen Lage des Limbuskreises auf das links- oder bei umgekehrter Lage desselben auf das rechtsliegende Winkelobject gerichtet ist, oder eine zwischen den beiden Objecten in der Mitte liegende Richtung annimmt. In beiden Fällen kann man auch dadurch wieder eine Modification eintreten lafsen, indem entweder die Seitenebenen der beiden Prismen in eine Ebene fallen, oder nicht. Aufserdem wird die Winkelbestimmung noch wesentlich erleichtert, wenn man sich zu derselben des im §. 424. beschriebenen Stativs bedient.

1. Methode. Das Fernrohr ist auf das linksliegende Object gerichtet.

§. 435.

Obgleich man die Winkelmefsung in jedem beliebigen Punkte des Limbus beginnen lafsen kann, so werde doch angenommen, dafs der Index der Randtheilung auf 180⁰ und der des Verniers 1 auf 0⁰ gestellt sei, dann fallen die Seitenebenen der Prismen nicht in eine Ebene. Man giebt nun gleich anfangs durch Drehung der Rotationsaxe HH (Fig. 213.) dem Apparat die Lage, dafs seine Kreisebene in die Ebene der Winkelschenkel fällt und zieht dann die Klemme O_1 an. Durch Drehung des beweglichen Theils des Stativs bringt man darauf das Kreisprisma in die Lage, dafs das Bild des linksliegenden Objects P an dem senkrechten Faden des Fernrohrs erscheint, dreht das Alhidadenprisma, bis an demselben Faden das Bild des rechtsliegenden Objects Q sich zeigt, und bringt durch Anwendung des Mikrometerwerks beide Bilder zur Coincidenz. Das scharfe Erkennen der Bilder wird durch Erhöhung oder Erniedrigung des Fern-

rohrs erreicht. Nun liest man den Stand des Verniers 1 ab, um die ungefähre Gröfse $\frac{1}{2}a$ des abgeschnittenen Bogens zu erfahren, wenn a den gesuchten Winkel bezeichnet. Darauf verstellt man durch Lösung der Klemme N (Fig. 211.) den Kreis mit der darangeschlofsenen Alhidade um $\frac{1}{2}a$ auf der Randtheilung, aber selbstverständlich nach dem Fortschreiten der Eintheilung, und bringt durch Drehung der Alhidade das Bild des rechtsliegenden Objects wieder an den Faden des Fernrohrs, so giebt jeder Vernier in Bezug auf dessen ursprüngliche Stellung und nach Anbringung des Indexfehlers den Winkel a und zwar befreit von dem Einflufs der Winkelungleichheit der Prismen und der Excentricität.

Den Indexfehler erhält man auf die schon bekannte Weise, dafs man den Index des Verniers 1 ungefähr auf 0^0 stellt und mittelst der Mikrometerschraube das Alhidadenprisma so weit dreht, bis das Bild des linksliegenden Gegenstandes mit demselben Bilde des Kreisprisma's coincidiert und die halbe Summe der Ablesungen α_1 und α_2 der Verniers 1 und 2 nimmt. Dann ist wieder das Mafs des Winkels, wenn die zuerst erwähnten Ablesungen a_1 und a_2 sind,

$$= \tfrac{1}{2}\left[(a_1 + a_2) - (\alpha_1 + \alpha_2)\right].$$

Aufserdem bietet der Prismenkreis gegen die anderen Reflexionsinstrumente bei der Bestimmung des Indexfehlers noch den Vortheil dar, dafs man dazu jeden nahen, scharf begrenzten Gegenstand benutzen kann, weil das Alhidadenprisma eine concentrische Lage zum Kreisprima hat.

Im Falle, dafs die Winkelbestimmung nicht auf dem Stativ, sondern aus freier Hand vorgenommen wird, kann man nach der Verstellung des Kreises und der Alhidade um $\frac{1}{2}a$ auf der Randeintheilung, bei umgekehrter Lage des Instruments, Statt des rechtsliegenden Objects, sich auch des linksliegenden bedienen.

Da wegen des angebrachten Mikrometerwerks die Alhidade gegen das feststizende Fernrohr um mehr als 90 Grade verstellt werden kann, so lafsen sich von jedem Punkte des Limbus aus zwischen 0^0 und 180^0 alle Winkel bis über 90 Grade mefsen.

2. Methode. Das Fernrohr ist nach einem Punkte in der Mitte zwischen den beiden zu beobachtenden Objecten gerichtet.

§. 436.

Diese Methode unterscheidet sich besonders dadurch von der vorhergehenden, dafs das Resultat des Winkels aus zwei Theilen zusammengesetzt wird, die durch eine symmetrische Lage der Prismen auf beiden Seiten der Visierlinie des Fernrohrs sich bestimmen, aus welchem Grunde es auch der Bestimmung des Indexfehlers nicht bedarf und woraus auch die Möglichkeit der Mefsung von Winkeln bis über 180^0 hinaus sich ergiebt. Vorzugsweise eignet sich diese Methode aber zu Höhenmefsungen über Reflexionshorizonten. (§. 438.)

Es sei der Index der Randtheilung auf 0^0, der des Verniers 1 auf 180^0, wobei die Seitenebenen der Prismen in eine Ebene fallen. Wie bei der vorigen Methode bringt man das Bild des linksliegenden Objects an den Verticalfaden des Fernrohrs, indem man aber den Kreis mit der Alhidade zugleich dreht, und durch Drehung und feine Einstellung der Alhidade mit ihm das Bild des rechtsliegenden Objects zur Coincidenz. Wird der zu bestimmende Winkel wieder durch a bezeichnet, so steht nach dieser Operation der Index der Randtheilung auf $0^0 + \frac{1}{2}a$ und der Index des Verniers 1. auf $180^0 + \frac{1}{2}a$.

Darauf bringt man den letzteren Index wieder auf 180^0, dreht aber den Kreis mit der Alhidade um 180^0, wodurch also die Prismen symmetrisch auf die andere Seite der Visierlinie gelangen und der Index der Randtheilung auf 180^0 kommt. Man bringt nun aber durch Drehung des Kreises mit der Alhidade das Bild des rechtsliegenden Objects an den Verticalfaden des Fernrohrs und durch Drehung und feine Einstellung der Alhidade, die jetzt also gegen die Limbustheilung erfolgt, das Bild des linksliegenden Gegenstandes mit dem ersteren zur Coincidenz; so ist wieder der Index des Verniers 1 um einen Bogen $= \frac{1}{2}a$ von seinem Anfangspunkte 180^0 fortbewegt. Beide Werthe also addiert, giebt den Werth des Winkels für den Vernier 1. Auf dieselbe Weise ergiebt sich auch der für den Vernier 2 und aus ihrer Verbindung mit einander der ebenfalls von der Excentricität befreite Werth des Winkels.

B. Mefsung der Höhenwinkel.

§. 437.

Die Mefsung der Höhenwinkel mittelst der Reflexionsinstrumente unterscheidet sich dadurch wesentlich von der, welche mit den in Abschnitt 2. Capitel 1. unter IV. beschriebenen Höheninstrumenten ausgeführt wurde, dafs hier nur von der Bestimmung der Elevations- oder Depressionswinkel, nicht aber von der Mefsung der Zenithdistanzen die Rede sein kann, weshalb auch bei Mefsungen, die auf dem Festlande vorgenommen werden, immer ein Reflexionshorizont angewandt werden mufs.

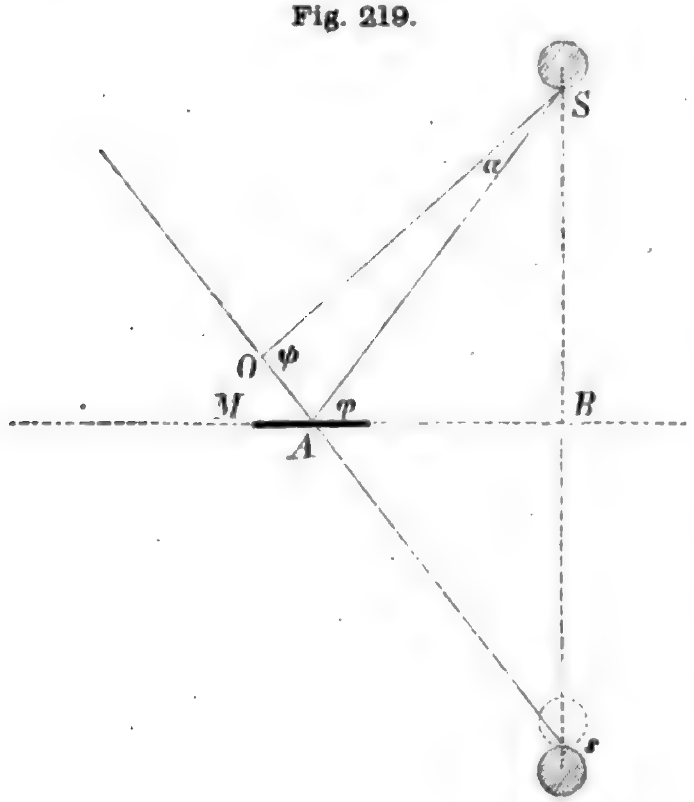
Das Verfahren mit dem Sextanten, dem Reflexionskreise und dem Pistor-schen Spiegel-Prismenkreise bleibt im Allgemeinen dasselbe, nur dafs bei dem letzteren das Prisma die Stelle des kleinen Spiegels einnimmt. Der Steinheil'sche Prismenkreis gestattet zwar auch die Anwendung des nämlichen Verfahrens; jedoch auch noch ein zweites, dem im vorigen Paragraphen angegebenen entsprechend, das durch die concentrische Lage der beiden Glasprismen bedingt ist.

Man stellt in einige Fufs Entfernung vom Standpunkte einen der im §. 427. beschriebenen Reflexionshorizonte so auf, dafs man eben sowohl das Höhenobject direct, als auch dessen vom Horizonte reflectiertes Bild sehen kann und hält das Reflexionswerkzeug so in die Verticalebene des Winkels, dafs man durch den

Ring und durch den unbelegten Theil des kleinen Spiegels, oder über dem Prisma weg beim Spiegel-Prismenkreise, das Bild im Horizonte sieht. Darauf dreht man die Alhidade mit dem grofsen Spiegel soweit, bis das doppelt reflectierte Bild in der Nähe des ersteren erscheint. Dann schraubt man das Fernrohr ein und bringt an seinem Verticalfaden durch Anwendung der Mikrometerschraube beide Bilder zur Coincidenz, so ist mit Berücksichtigung des zu bestimmenden Indexfehlers für nahe terrestrische Objecte der vom Index des Verniers abgeschnittene Bogen dem doppelten Höhenwinkel gleich.

Beim Steinheil'schen Prismenkreise wird das im Horizonte liegende Bild des Objects durch das Kreisprisma mittelst Drehung des Kreises und der Alhidade beobachtet und dann der Kreis gehemmt; darauf die Alhidade so weit gedreht, dafs beide Bilder an dem Faden des Fernrohrs erscheinen und durch Anwendung der Mikrometerschraube werden beide Bilder zur Coincidenz gebracht.

Fig. 219.



Wäre das Auge des Beobachters in dem Punkte A des Reflexionshorizonts M (Fig. 219.), in welchem sowohl der leuchtende Punkt S, als dessen optisches Bild s coincidieren, so würde der halbe abgelesene Winkel den Höhenwinkel $SAB = \varphi$ angeben. Da aber das Auge hinter dem Fernrohre des Reflexionsapparats in einem bestimmten Abstande $OA = a$ sich befindet, so ist, wenn man die dem Winkel SOA entsprechende Ablesung am Kreise $= \psi$ setzt,

$$2\varphi = \psi + \alpha,$$

welchen Winkel α man die Höhenparallaxe der Beobachtung nennt. Setzt man $AS = b$, so ist

$$\sin \alpha = \frac{b}{a} \sin \psi,$$

oder, da α immer einen sehr kleinen Winkel darstellt,

$$\alpha = \frac{b}{a} \sin \psi \,.\, 206265 \text{ Sekunden},$$

folglich ist $\varphi = {}^1\!/_2\, \psi + \dfrac{2b}{a} \sin \psi \,.\, 206265$ Sekunden.

Bei der Mefsung der Höhen der Gestirne bedarf man dieser Correction nicht, da bei ihnen $SO \neq SA$, also $\psi = \varphi$ ist.

§. 438.

Der Steinheil'sche Prismenkreis gestattet aber noch eine zweite Art der Höhenbestimmung, welche der bei der Mefsung schiefliegender Winkel analog ist. Da aber dabei das Fernrohr eine horizontale Lage haben mufs, so ist der Apparat entweder aus freier Hand zu gebrauchen, oder bei der Anwendung des Stativs nur soweit auf der Schraube *L* (Fig. 213.) zu befestigen, dafs das in den Ring *H* (Figg. 211. und 212.) geschraubte Fernrohr die horizontale Lage bekommt. Substituiert man nun bei den Mefsungen der schiefliegenden Winkel für das linksliegende Object hier das Bild im Reflexionshorizonte, für das rechtsliegende aber das wirkliche Höhenobject, so giebt jede Ablesung an den Verniers für sich die von dem Einflufs der Winkelungleichheit der Prismen, der Excentricität und des Indexfehlers befreite Höhe über dem Horizont.

Gebrauch der Reflexionsinstrumente in der nautischen Astronomie.

§. 439.

Die Anwendung der Reflexionsinstrumente in der Nautik bezieht sich in Bezug auf die Mefsung schiefliegender Winkel vorzugsweise auf die für die Längenbestimmung der Meeresörter so wichtige Mefsung von Monddistanzen, worunter man bekanntlich die Entfernung des Mittelpunkts der Mondscheibe von dem Mittelpunkte der Sonne oder einem Planeten oder von einem Fixsterne, vom Mittelpunkte der Erde aus gesehen, versteht. Es soll hierbei nur die Anwendung des Pistor'schen Spiegel-Prismenkreises berücksichtigt werden, da derselbe nicht nur viel Bequemlichkeit gewährt, sondern auch die Winkeldistanz befreit von dem Excentricitätsfehler angiebt.

Man stelle den Index des Verniers 1. auf den Nullpunkt des Limbus, bringe die entsprechenden Blenden oder das Sonnenglas vor das Fernrohr und gebe dem Instrumente die Lage, welche durch die Winkelschenkel bestimmt ist. Steht die Sonne rechts vom Monde, so kommt die Theilung des Limbus nach Oben, bei umgekehrtem Stande nach Unten. Man sieht nun zunächst durch den Ring des Fernrohrs nach dem Monde, bringt durch Bewegung der Alhidade das Spiegelbild der Sonne mit dem nächsten Mondrande beinahe zur Berührung und zieht die Klemmschraube des Mikrometerwerks an. Indem man nun das Fernrohr in den Ring schraubt, ihm auch die zum deutlichen Erkennen der Bilder erforderliche Höhe giebt, bringt man die zunächst liegenden Ränder beider Himmelskörper durch Anwendung der Mikrometerschraube an dem Verticalfaden des Fernrohrs zur genauen Berührung, so erhält man durch Ablesung der Verniers und nach Anbringung des Indexfehlers die geforderte Winkeldistanz der beiden erwähnten

Ränder. Man nennt diesen Werth dann die beobachtete scheinbare Monddistanz.

Gewöhnlich werden fünf solcher Beobachtungen nach einander angestellt und von den erhaltenen Resultaten das arithmetische Mittel genommen.

Da in dem Nautical Almanac und in dem Nautischen Jahrbuch von Bremiker die Distanzen des Mondes von der Sonne und einigen Planeten und Fixsternen für jeden Tag, mit Ausnahme einiger Tage um die Zeit des Neumondes, von je 3 Stunden in Bezug auf den Greenwicher Meridian und hinsichtlich ihrer Lage nach Osten oder Westen angegeben sind, so kann man auch vorläufig die Monddistanz für die Beobachtungszeit berechnen. Man wird letztere nur auf den Greenwicher Meridian zu reducieren und dann aus den Ephemeriden die der reducierten Zeit zunächst liegende Distanz zu nehmen haben. Da letztere aber sich auf die Mittelpunkte der Scheiben bezieht, so wird man von ihr noch die Summe der beiden Halbmefser, also etwa 30 Minuten abzuziehen haben, um die Distanz der zunächst liegenden Ränder zu erhalten.

Auf dieselbe Weise wird auch die Distanz des Mondes von einem Planeten oder hellen Fixstern bestimmt.

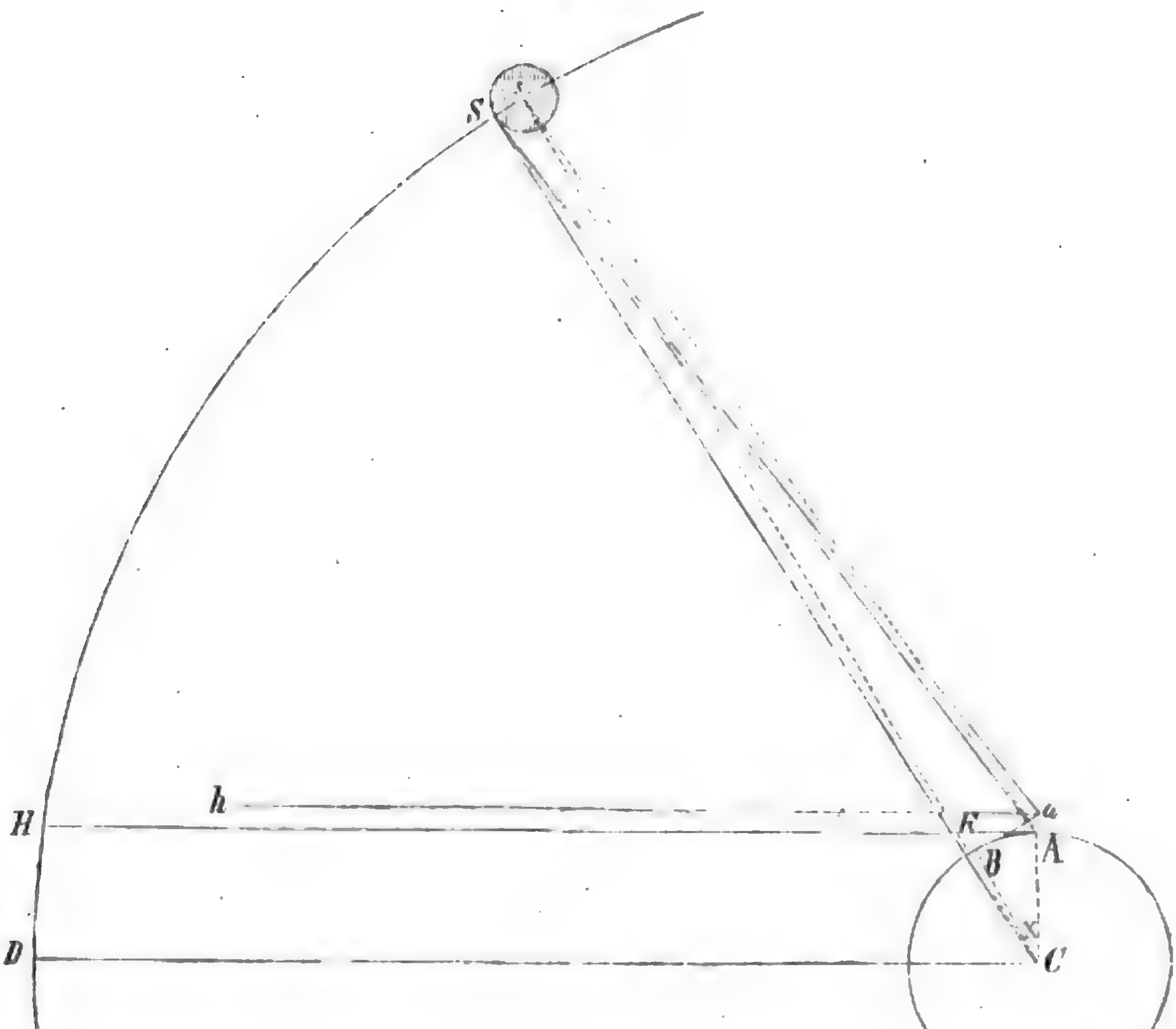
§. 440.

Höhenmefsungen mit den Reflexionsinstrumenten werden in der nautischen Astronomie nicht allein zur Bestimmung der Zeit und der Polhöhe, oder in einzelnen Fällen auf dem Festlande zur Festlegung des Meridians, sondern auch zur Reduction der nach dem vorigen Paragraphen beobachteten scheinbaren Monddistanzen gefordert, indem man darunter den von dem Einflufse der Refraction und der Parallaxe befreiten Werth der scheinbaren Distanz versteht.

Wird die Höhe eines Sonnen- oder Mondrandes, oder eines Sterns nach dem Meereshorizonte, oder auf dem Festlande mit Hülfe eines Reflexionshorizonts bestimmt, so nennt man den gemefsenen Höhenwinkel die scheinbare Höhe des Gestirns, welche aber vor ihrer Anwendung bei Berechnungen noch mehrfacher Correctionen bedarf.

Es sei in Fig. 220. a der Ort des in der Höhe $Aa = h$ über der Meeresoberfläche befindlichen Auges, und aB der durch das Auge gelegte Meereshorizont, AH der scheinbare, CD der wahre Horizont des Punktes A und ah eine mit AH parallele Ebene, so ist die in a beobachtete Höhe des unteren Sonnen- oder Mondrandes S der Winkel BaS, während der Winkel haS oder, da Sa und SA als parallel angesehen werden können, HAS die zu bestimmende scheinbare Höhe darstellt. Es ist daher der mit dem Reflexionsinstrumente beobachtete Winkel BaS um den von der Höhe h abhängenden Depressionswinkel haB, den man die Kimmtiefe oder die Dücking der Kimm nennt, zu vermindern.

Fig. 220.



Setzt man $h\,a\,B = x$ und den Erdhalbmefser $= r$, so ist, da

$$\operatorname{tg} x = \sqrt{\frac{1 - \cos x^2}{\cos x^2}} \text{ und } h\,a\,B = a\,C\,B, \text{ also } \cos x = \frac{r}{r+h} \text{ ist,}$$

$$\operatorname{tg} x = \sqrt{\frac{1 - \frac{r^2}{(r+h)^2}}{\frac{r^2}{(r+h)_2}}},$$

woraus $\operatorname{tg} x = \sqrt{\frac{(2\,r + h)\,h}{r}}$ folgt.

Nach der durch Bessel bestimmten Constante beträgt die Kimmtiefe für 1 rheinländischen Fufs 60,2 Sekunden, wofür in runder Zahl 1 Minute genommen wird. In den Nautischen Jahrbüchern findet sich die Kimmtiefe, ebenfalls auf den rheinländischen Fufs bezogen, für 1 bis 40 Fufs, in den Tafeln zu Bobrik's Handbuch der praktischen Seefahrtskunde noch erweitert und zugleich mit Rücksicht auf Refraction angegeben.

Da aber die scheinbare Höhe bei der Sonne und dem Monde nicht auf den beobachteten unteren oder oberen Rand, sondern auf den Mittelpunkt der Scheibe

bezogen werden mufs, so ist derselben noch der für die Beobachtungszeit aus den Ephemeriden zu nehmende Halbmefser derselben beziehungsweise im additiven oder subtractiven Sinne hinzuzufügen. Weil indessen die Zunahme der Refraction bei abnehmender Höhe eine scheinbare Verkürzung des verticalen Durchmefsers der Sonne und des Mondes veranlafst, während der horizontale unverändert bleibt, so bedarf der aus den Ephemeriden genommene Halbmefser noch einer Correction, welche mit den Argumenten der scheinbaren Höhe des Randes und des Halbmefsers der Ephemeride in den Nautischen Jahrbüchern und Tafeln berechnet sich vorfindet.

Beispiel. Am 30. Juni 1861 ist die Höhe des unteren Sonnenrandes bei einer Höhe des Auges von 21 Fufs über dem Meere zu 55° 0′ 40″ gefunden.

Gemefsene Höhe		55° 0′ 40″
Kimmtiefe		— 4′ 35″
Scheinbare Höhe des unteren Randes		54° 56′ 5″
Halbmefser ⊙	15′ 46″	
Correction im verticalen Durchmefser	2″	
		15′ 44″
Scheinbare Höhe des ⊙mittelpunktes		55° 11′ 49″

Bei der Bestimmung der scheinbaren Höhen auf dem Festlande mittelst des Reflexionshorizonts wird auf die Kimmtiefe deshalb gewöhnlich nicht Rücksicht zu nehmen sein, da man das Reflexionsinstrument dem Horizonte so nahe als möglich bringen kann.

Aufserdem ist beim Monde noch eine Verbefserung von einer bestimmten Anzahl der Bogensekunden anzubringen, um welche sein Halbmefser wegen gröfserer Nähe dem Beobachter auf der Erdoberfläche gröfser erscheint, als vom Mittelpunkte der Erde aus gesehen. Diese Correction, die sowohl bei gemefsenen Höhen, als Distanzen in Betracht kommt, ist ebenfalls mit dem Argument der Höhe in den Nautischen Jahrbüchern berechnet.

Beispiel. Am 5. September 1861 ist 17^h die Höhe des oberen Mondrandes über dem Meere zu 8° 51′ 10″ gemefsen; die Höhe des Auges war 18 Fufs.

Gemefsene Höhe		8° 51′ 10″
Kimmtiefe		— 4′ 15″
Scheinbare Höhe des oberen Randes		8° 46′ 55″
Halbmefser ☾	16′ 29″	
Vergröfserung desselben +	2″	
Verkürzung des verticalen Durchmefsers —	12″	
		16′ 19″
Scheinbare Höhe des Mondes		8° 30′ 36″.

§. 441.

Die wahre Höhe eines Himmelskörpers, auf deren Bestimmung es in der nautischen Astronomie allein ankommt, ist die nach der Refraction und der Höhenparallaxe (§. 145.) verbefserte scheinbare Höhe desselben. Ist also (Fig. 220.) nach dem vorigen Paragraphen HAs bestimmt, so ist die wahre Höhe $= DCs =$ $= HEs + AsC$, d. h. die wahre Höhe wird aus der scheinbaren Höhe gefunden, wenn die Refraction davon abgezogen und die Höhenparallaxe dazu addiert wird. Letztere ist aber aus der Gleichung [29.] (§. 146.)

$$\sin p = \sin \pi \cos h,$$

worin p die Höhen-, π die Horizontalparallaxe und h die um die Refraction verbefserte Höhe bezeichnet, zu bestimmen. Bei der Sonne kann man ohne Fehler $p = \pi \cos h$ setzen. Zur Bestimmung der Refraction mufs daher aufser dem Barometerstande auch noch die Temperatur des Quecksilbers und der Luft beobachtet sein.

Beispiel. Am 30. Juni 1861 ist die scheinbare Höhe des oberen Sonnenrandes zu $36^0\,27'\,55'' = h$ bei einer Höhe des Auges von 21 Fufs gemefsen. Barometer $B = 28''\,3'''$, $T = 19^0{,}5$ R, $\gamma = 20^0{,}5$ R. (§. 142.) Man sucht die wahre Höhe der Sonne.

$\log \alpha =$	$1{,}76061$	Beobachtete Höhe	$36^0\,27'\,55''$
$A =$	$1{,}00000$	Kimmtiefe .... −	$4'\,35''$
$\lambda =$	$1{,}00270$	Scheinbare Höhe des unteren Randes ...	$36^0\,23'\,20''$
$\log T =$	$-\,0{,}00170$		
$\log B =$	$0{,}00776$		
$\log T + \log B =$	$0{,}00606$		
$\log \gamma =$	$-\,0{,}02428$		
$\lambda \log \gamma =$	$-\,0{,}02435$		
$\log \operatorname{cotg} h =$	$0{,}13255$		
$\log \alpha =$	$1{,}76061$		
$A\,(\log T + \log B) =$	$-\,0{,}00606$		
$\lambda \log \gamma =$	$-\,0{,}02435$	Refraction .... −	$1'\,15''$
$\log \rho =$	$1{,}87487$	Parallaxe .... +	$7''$
$\rho =$	$74'',967$. *)	Wahre Höhe des oberen Sonnenrandes ...	$36^0\,22'\,12''$
Parallaxe ⊙ $=$	$8'',44$		
$\cos h =$	$0{,}80501$	Halbmefser ⊙ .... −	$15'\,45''$
$p =$	$6,''79$	Wahre Höhe der Sonne ...	$36^0\;\;6'\,27''$.

*) Die hier nach den auf S. 170 u. f. angegebenen Refractionstafeln berechnete Refraction wird durch die in den Nautischen Jahrbüchern angegebenen Tafeln noch bedeutend vereinfacht.

§. 442.

Nachdem nun bei einer nach §. 439. gemefsenen scheinbaren Monddistanz nach den vorigen Paragraphen sowohl die scheinbare, als die wahre Höhe des Mond- und Sonnenmittelpunkts (oder eines Planeten oder Fixsterns) bestimmt sind, kann auch ihre Reduction (§. 440.) ausgeführt werden. Es kann aber nicht die Absicht sein, hier sowohl diese Reduction, als auch den daraus sich ergebenden Längenunterschied zu bestimmen und mufs sowohl in dieser Beziehung, als auch wegen der Lösung noch anderer nautischer Aufgaben auf nautische Lehrbücher, so wie u. a. auf das Nautische Jahrbuch von Bremiker verwiesen werden.

DRITTES CAPITEL.

Instrumente zur Absteckung der rechten Winkel.

§. 443.

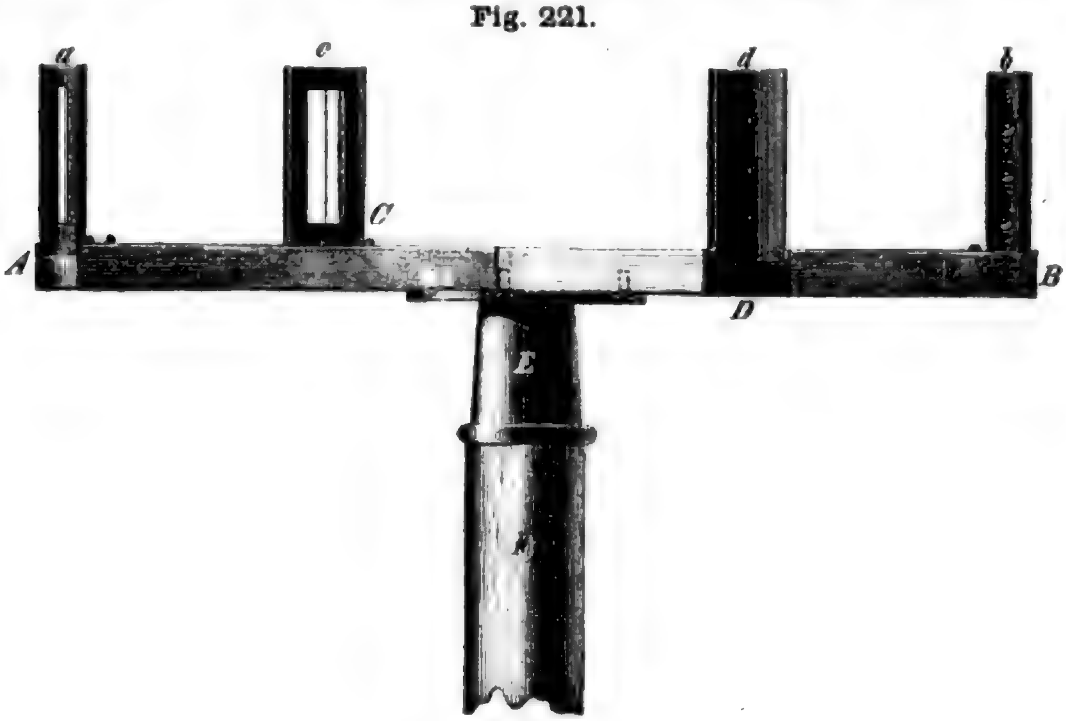
Obgleich die im ersten Capitel beschriebenen Azimuthalinstrumente, so wie auch der Mefstisch und die Boussole in den Stand setzen, auf dem Felde rechte Winkel abzustecken: so gewähren doch bei den mit der Mefskette ausgeführten Aufnahmen kleinerer Fluren eigens dazu construierte Instrumente mehr Bequemlichkeit, von welchen die nachfolgenden die am meisten angewandten sind.

§. 444.

1. Das Winkelkreuz.

Das in Fig. 221. im Drittel wahrer Gröfse dargestellte Winkelkreuz besteht aus zwei rechtwinklicht mit einander verbundenen, vierseitigen Prismen AB und

Fig. 221.



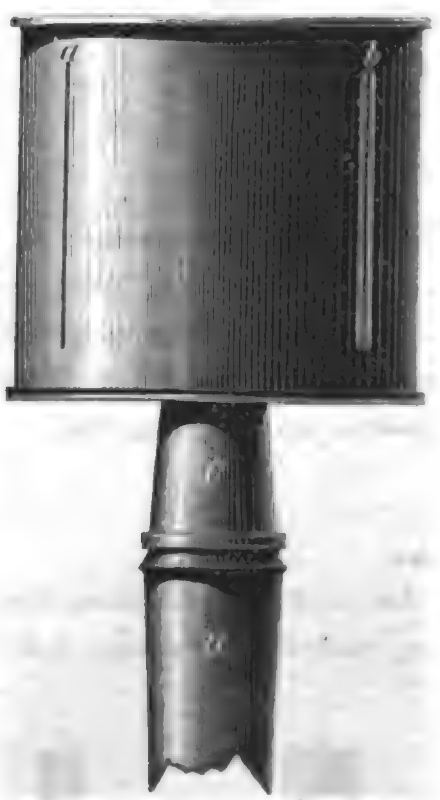
CD, an deren Enden Dioptern (§. 34.) a, b, c, d festgeschraubt sind, von denen die Oculardioptern b, d aus einer mit Visierlöchern versehenen Messingplatte, die Objectivdioptern a, c aus einem Rahmen mit einem darin ausgespannten Verticalfaden bestehen. Unter dem Kreuze ist durch eine Scheibe eine Hülse E befestigt, mit welcher das Werkzeug auf den Zapfen eines mit einem eisernen Schuh versehenen Stockstativs F gestellt wird.

Bei einigen Winkelkreuzen sind die hölzernen Prismen durch Messingplatten vertreten, auch die Dioptern zum Umlegen wohl mit Charnieren versehen.

§. 445.

2. Die Winkeltrommel.

Fig. 222.



Dieser in Fig. 222. ebenfalls im Drittel wahrer Gröfse dargestellte Apparat besteht aus einem hohlen, inwendig geschwärzten Cylinder AB, auf dessen Mantel in Abständen von 90 Grad vier, die Dioptern vertretende Verticalspalten sich finden, von denen die eine a jedes zusammengehörigen Paares, als Oculardiopter, sehr schmal, die andere breitere gegenüberstehende b einen ausgespannten Verticalfaden enthält. Durch eine Deck- und Bodenplatte ist der Cylinder ganz geschlofsen. Letztere enthält eine konische Hülse C zum Aufstellen auf den konischen Zapfen eines Stockstativs D.

Die Prüfung des Winkelkreuzes und der Winkeltrommel und deren Gebrauch.

§. 446.

Nachdem man sich nach dem im §. 35. angegebenen Verfahren von der Richtigkeit der Dioptern und dadurch von der Brauchbarkeit derselben überzeugt hat, stecke man mittelst eines Theodoliths auf dem Felde über einer abgesteckten Geraden ABC zwei neben einander liegende rechte Winkel ABD und DBC mit Genauigkeit ab und bezeichne sie durch Baken. Stellt man nun den zu prüfenden Apparat in B auf und richtet die eine Visierlinie nach A, so mufs die andere nach D zeigen, welches Verfahren man an dem Nebenwinkel DBC des ersteren

wiederholen kann. Sollte dabei ein Fehler sich zeigen, so mufs derselbe durch seitliche Verschiebung des Verticalfadens berichtigt werden.

In Ermangelung eines Theodoliths kann man auch die eine Visierlinie des in *B* aufgestellten Apparats auf *A* richten, in der Richtung der anderen aber *D* bestimmen. Bringt man dann durch Drehung des Instrumentes die erste Visierlinie wieder auf *D*, so mufs die zweite in der Verlängerung von *AB* auf *C* gerichtet sein.

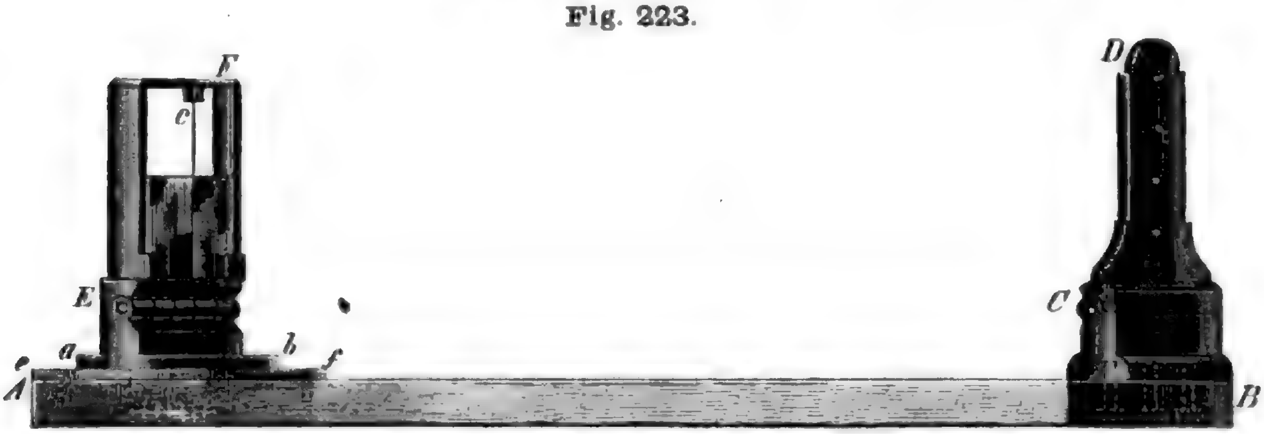
Der Gebrauch der Apparate zum Abstecken rechter Winkel auf dem Felde dürfte sich ohne Weiteres ergeben.

§. 447.

3. Das Fallon'sche Spiegellineal.

Dieser vor etwa 60 Jahren von dem Oesterreichischen Oberstlieutenant Fallon erfundene und in Fig. 223. in halber wahrer Gröfse dargestellte Apparat

Fig. 223.

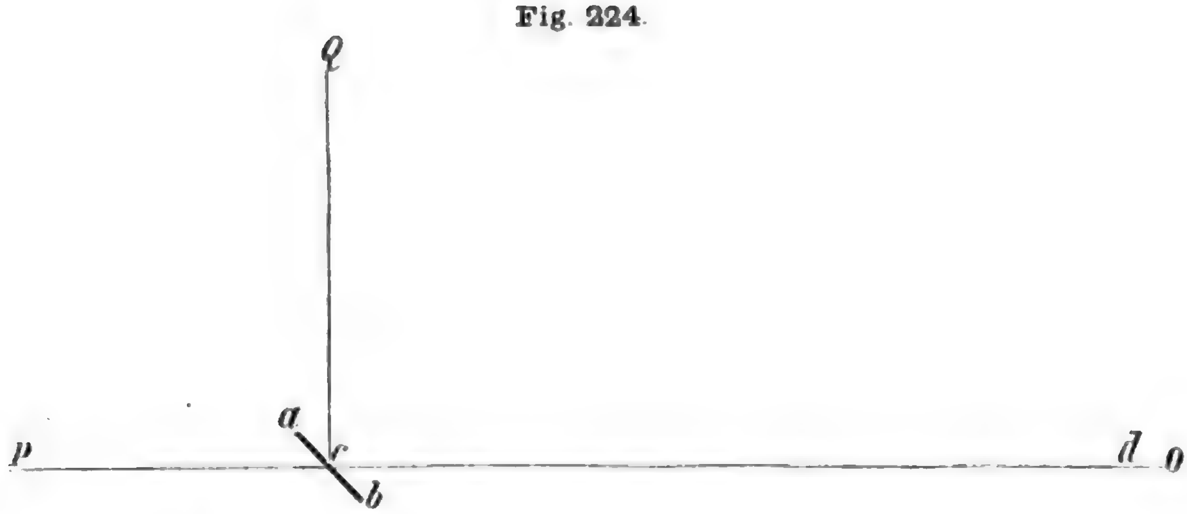


besteht aus einem hölzernen Lineal *AB* von etwa 10 Zoll Länge und $1\frac{1}{2}$ Zoll Breite, das an seinem einen Ende *B* ein Oculardiopter *CD* trägt, welches um ein bei *C* befindliches Charnier auf- und niedergelegt werden kann. An dem anderen Ende trägt es einen, auf einer cylindrischen Fufsplatte *ab* stehenden Metallrahmen *EF* mit einem Planspiegel, dessen obere Hälfte aber nicht foliiert ist und eine in der Mitte eingerifsene Linie *cd* in senkrechter Lage enthält, welche als Objectivdiopter dient. Auf einer, auf dem Lineale festgeschraubten Metallplatte *ef* läfst sich der Spiegelrahmen mit einem konischen Zapfen in einer Büchse des Lineals drehen und namentlich so stellen, dafs die Spiegelfläche mit der Kante des Lineals, nach der einen oder anderen Seite hin, einen Winkel von 45^0 bildet, wozu die Platten *ab* und *ef* die nöthigen Indices enthalten.

§. 448.

Bezeichnet also in Fig. 224. *ab* den gegen die Visierlinie *cd* unter 45^0 gestellten Spiegel und sieht das hinter *d* befindliche Auge *O* in der Richtung *OP* durch den nicht belegten Theil des Glases, längs der durch *c* gehenden senkrechten Linie, das Object *P*, in dem Spiegel an der erwähnten Linie aber durch Reflexion

Fig. 224.



das Object Q, so folgt aus bekannten Eigenschaften der Reflexion des Lichts von einem unter 45^0 geneigten Spiegel, dafs $QcP = 90^0$ ist, d. h. die Objecte P und Q mit dem Standorte einen rechten Winkel bilden. Hieraus ergiebt sich nicht allein die Prüfung des Apparats, welche nach dem im §. 446. angegebenen Verfahren vorgenommen wird, sondern auch der Gebrauch desselben beim Abstecken rechter Winkel.

§. 449.

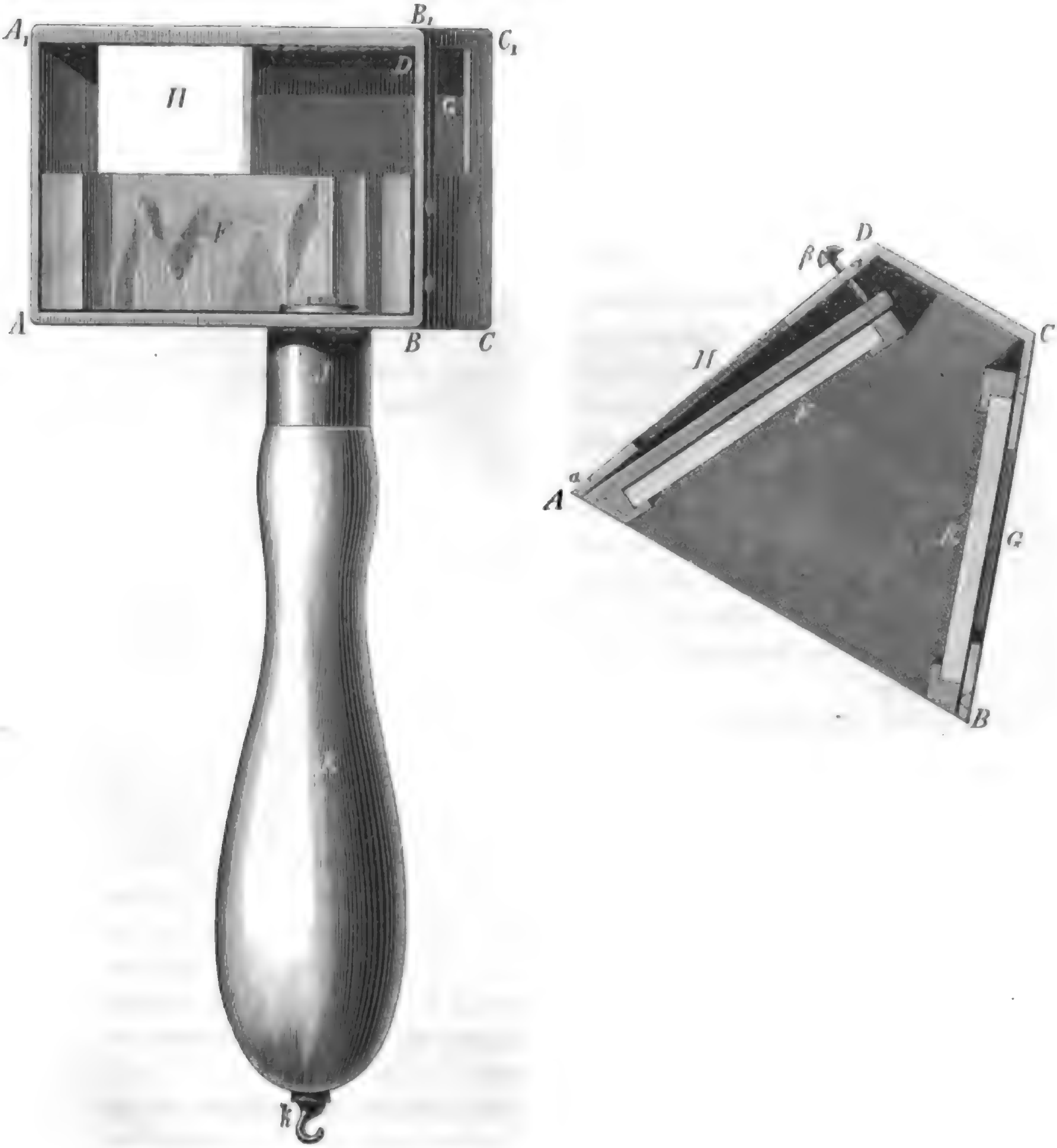
4. Der Winkelspiegel.

Dieser von dem Engländer Adams schon in der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts erfundene Apparat ist in Fig. 225. in natürlicher Gröfse in vorderer Ansicht und im Grundrifs mit weggenommener Deckplatte dargestellt. Er stützt sich in seiner Construction und in seinem Gebrauch auf den im §. 401. 1. angegebenen Satz, nach welchem, wenn seine beiden Spiegel einen Winkel von 45^0 mit einander einschliefsen, der in Fig. 195. von einem Object S herkommende und zwei Mal reflectierte Strahl BC mit dem in dieser Richtung über dem anderen Spiegel weg wahrgenommenen Objecte E einen rechten Winkel in dem Standorte bildet.

An jeder der beiden, etwa unter 45^0 gegen einander geneigten Seitenebenen eines vierseitigen prismatischen Messinggehäuses $AA_1\,BB_1\,CC_1\,D$, dessen eine Seitenebene aber nicht geschlofsen ist, ist in halber Höhe ein auf der Grundebene normal stehender Spiegel E, F in starker Fafsung, und oberhalb desselben eine fensterartige Oeffnung G, H zum Durchsehen auf den einen Spiegel und auf einen direct gesehenen Gegenstand angebracht. Die Fafsungen des Spiegels E sind an der Seitenwand $BB_1\,CC_1$ durch vier Schrauben befestigt, während die hintere Fafsungswand des anderen Spiegels F ebenfalls durch 3 Zugschrauben $\alpha\,\alpha$ befestigt, durch eine Druckschraube β aber so gegen den feststehenden Spiegel verstellt werden kann, dafs die spiegelnden Ebenen genau unter 45^0 geneigt sind.

Eine in der Grundebene des Gehäuses befestigte Hülse J nimmt einen Handgriff K auf, an dessen unterem Ende ein Häkchen k zum Einhängen eines Lothes angebracht ist.

Fig. 225.



Berichtigung und Gebrauch des Winkelspiegels.

§. 450.

Um den Winkelspiegel zu prüfen, stecke man mit dem Theodolith auf dem Felde einen rechten Winkel ab, stelle sich mit dem ersteren in dem Scheitelpunkte auf und bringe die beiden Fenster in die Richtung des einen Schenkels. Zeigt sich dann das doppelt reflectierte Bild des anderen Schenkels genau senk-

recht unter dem direct gesehenen ersten Schenkel, so bilden die beiden Spiegel 45^0 mit einander. Weichen aber beide Linien von einander ab, so wird man sogleich erkennen, ob der durch den Winkelspiegel dargestellte Winkel stumpf oder spitz ist, wodurch dann die nöthige Correction an den erwähnten Correctionsschräubchen $\alpha\alpha\beta$ vorgeschrieben wird. Der Gebrauch zum Abstecken eines rechten Winkels ergiebt sich hiernach von selbst.

§. 451.

5. Das Prismenkreuz.

Dieser vom Professor Bauernfeind in München erfundene Apparat *) dient nicht allein zum Abstecken der rechten Winkel, wozu jedes seiner Prismen angewandt werden kann, sondern auch in ihrer vereinten Wirkung zur Auffindung eines beliebigen Zwischenpunktes in einem gegebenen Alignement, mithin auch zur Bestimmung des Durchschnittspunktes zweier sich schneidender Alignements. Er verdient daher mit Recht den Vorzug vor den im Vorhergehenden unter 1. bis 4. beschriebenen Apparaten.

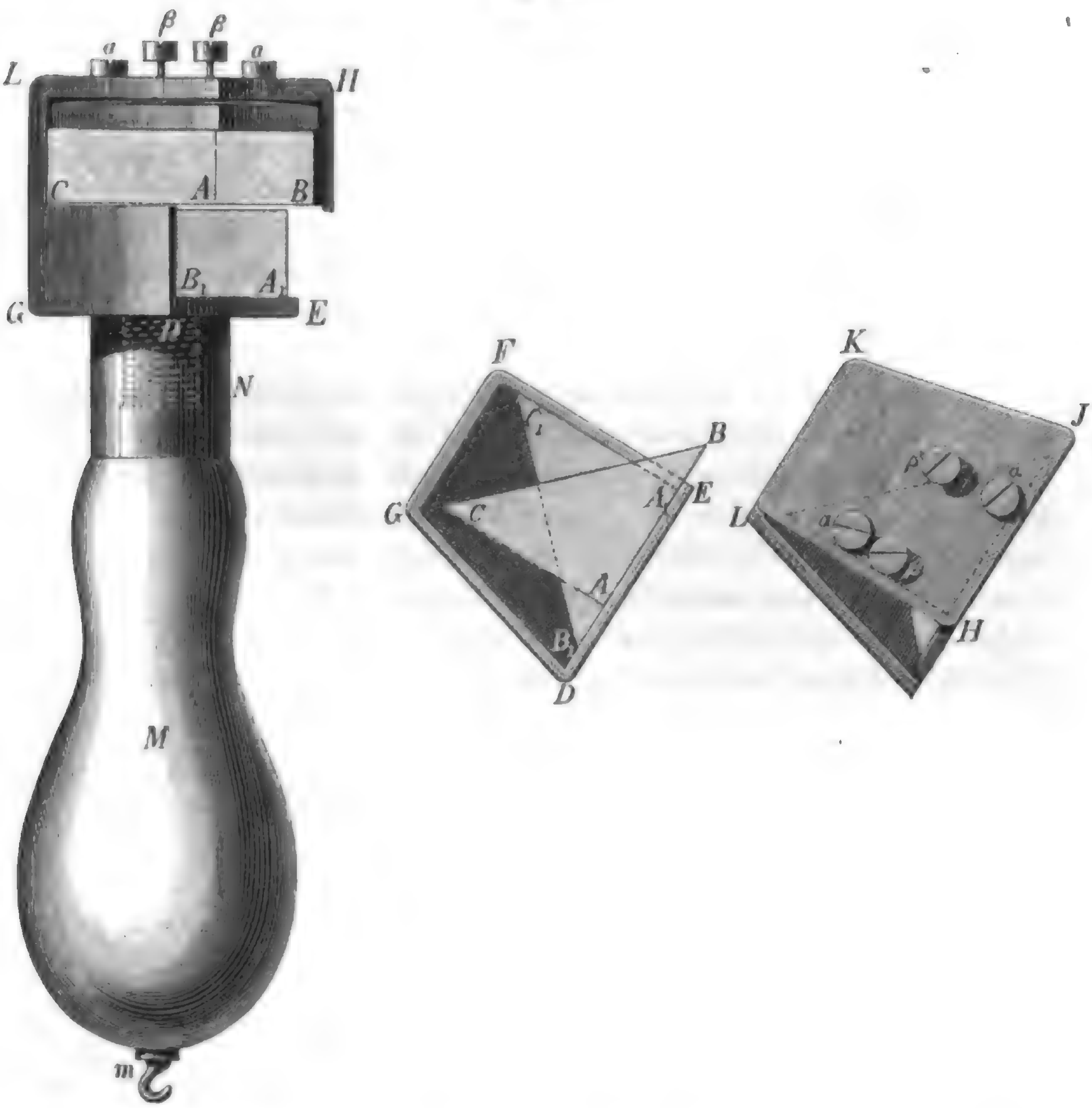
In Fig. 226. ist derselbe in wahrer Gröfse, theils in vorderer Ansicht, theils im Grundrifs dargestellt. Im letzteren bezeichnet $DEFG$ die Bodenplatte des Gehäuses mit den beiden über einander liegenden Prismen ABC und $A_1B_1C_1$, $HJKL$ aber die Deckplatte des Gehäuses mit den erforderlichen Zug- und Druckschrauben.

Das Prismenkreuz besteht aus zwei dicht über einander liegenden Glasprismen ABC und $A_1B_1C_1$ von gleichschenklicht-rechtwinklichtem Querschnitt in einer solchen Lage, dafs zwei ihrer Kathetenebenen über AB und A_1B_1 in eine Ebene fallen, die Hypotenusenebenen über BC und B_1C_1 aber rechtwinklicht zu einander stehen. Jedes der Prismen ist auf einer Fufsplatte befestigt und beide werden von einem inwendig und auswärts geschwärzten und seitlich ausgeschnittenen prismatischen Gehäuse $DEFGHJKL$ dergestalt umgeben, dafs von dem unteren Prisma die Kathetenebene A_1C_1, von dem oberen die Kathetenebene AC als Lichteintrittsebene dient, während vor die in eine Ebene fallenden anderen Kathetenebenen AB und A_1B_1 das Auge des Beobachters gebracht wird, die Hypotenusenebenen aber geblendet werden.

Die Fufsplatte des unteren Prisma's bildet zugleich die Grundplatte des Gehäuses, während die Fufsplatte des oberen mittelst zweier Zugschrauben $\alpha\alpha$ mit der Deckplatte des Gehäuses verbunden ist, die aber mit den Stellschrauben $\beta\beta$ zugleich zur Correction der Lage der Prismen dienen. Die Grundplatte enthält an ihrer Unterfläche eine Schraube, an welcher die Mutter der mit dem Handgriff M verbundenen Messingbüchse N befestigt wird. Das an dem Handgriff angebrachte Häkchen m dient zum Einlothen.

*) Theorie und Gebrauch des Prismenkreuzes von C. M. Bauernfeind. München 1851.

Fig. 226.



Berichtigung und Gebrauch des Prismenkreuzes.

§. 452.

Die Construction und der Gebrauch des Prismenkreuzes zum Abstecken der rechten Winkel beruht auf dem im §. 417. 2. angegebenen Satze, dafs wenn auf die eine Kathetenebene eines Glasprisma's von gleichschenklicht-rechtwinklichtem Durchschnitt so Lichtstrahlen fallen, dafs sie nach einer zweimaligen Reflexion an der anderen Katheten- und Hypotenusenebene und einer einmaligen Brechung an der letzteren Kathetenebene wieder austreten, die Gröfse des Ablenkungswinkels = 90⁰ ist. Da diese Eigenschaft nach dem erwähnten Paragraphen aber nur solche Lichtstrahlen haben können, welche auf den unteren Rand der Kathetenebene einfallen und in der Nähe des schiefen Winkels des Prisma's wieder austreten, so wird auch hier nur das Auge den Austritttstrahl zu suchen haben.

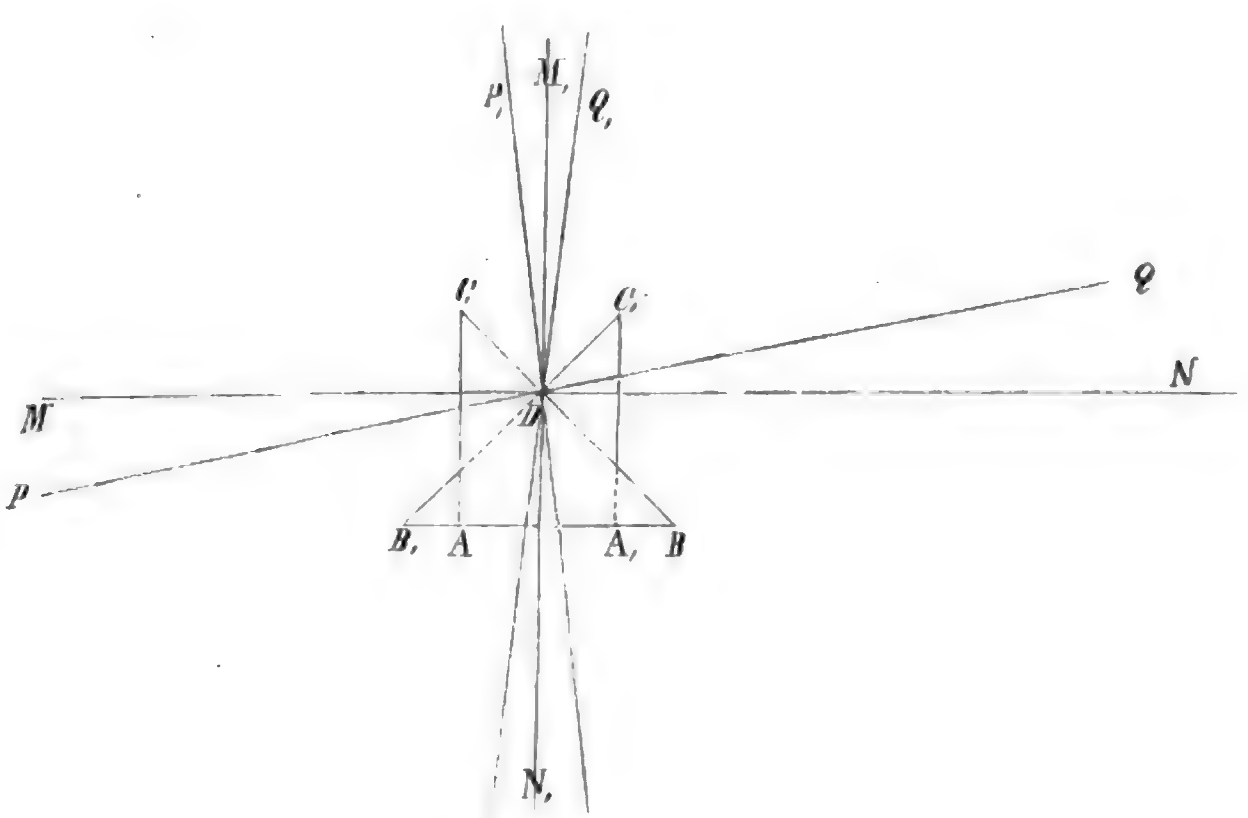
(Vergl. Fig. 208.) Es ist das Bild auch, wie a. a. O. erwähnt wurde, nicht allein an seiner schwachen Beleuchtung, sondern auch daran zu erkennen, dafs es der obigen Eigenschaft wegen, beim Drehen des Apparats um seine Achse, seinen Ort nicht ändert, sobald das Auge die nämliche Richtung behält.

Um daher jedes Prisma für sich insofern zu prüfen, ob es richtig geschliffen ist, wird man wieder einen rechten Winkel mit Genauigkeit abzustecken und zu untersuchen haben, ob das von dem einen Schenkel durch Reflexion und Brechung entstandene Bild genau mit dem über dem Prisma weg gesehenen anderen Schenkel coincidiert, oder nicht. Im letzteren Falle ist das Prisma fehlerhaft und durch den Optiker zu verbefsern.

Der Gebrauch des Prismenkreuzes zur Bestimmung eines Zwischenpunktes in einem gegebenen Alignement stützt sich auf die im §. 416. 1. u. 4. bei der totalen Reflexion in einem Glasprisma Statt findende Eigenschaft, dafs die Gröfse des Ablenkungswinkels eines unter einem beliebigen Winkel α auf die eine Kathetenebene auffallenden Lichtstrahls nach erfolgter totaler Reflexion von der Hypotenusenebene und zweiter Brechung an der anderen Kathetenebene entweder $= 90^0 + 2\,\alpha$ oder $= 90^0 - 2\,\alpha$ ist, je nachdem der Einfallsstrahl zwischen $-6^0\,55'$ und $+90^0$ oder von $6^0\,55'$ an auf der negativen Seite des Einfallslothes liegt.

Haben daher die beiden Prismen die in Fig. 227. angegebene Lage, indem ihre Achsen nicht allein parallel sind, sondern auch die über $A\,B$ und $A_1\,B_1$

Fig. 227.



liegenden Kathetenebenen in einer Ebene liegen und zugleich die Hypotenusenebenen auf einander normal stehen, also die über $A\,C$ und $A_1\,C_1$ liegenden Kathetenebenen parallel sind: so werden die von M und N senkrecht auf $A\,C$ und $A_1\,C_1$ fallenden Strahlen nach N_1 reflectiert, beide Objecte also in M_1 erscheinen, wenn die Achse der Prismen in der Geraden $M\,N$ liegt. Dieselbe Erscheinung wird aber, bei letzterer Voraussetzung, auch für jede andere schief gegen $A\,C$ und $A_1\,C_1$ liegende Gerade $P\,Q$ Statt finden, da der Einfallswinkel der Strahlen derselbe ist und nur der eine auf der positiven, der andere auf der negativen Seite des Einfallslothes liegt, daher $90^0 + 2\,\alpha + 90^0 - 2\,\alpha = 180^0$ ist.

§. 453.

Ob die Achsen der beiden Prismen parallel sind, erkennt man sehr leicht, wenn zwei senkrecht stehende Objecte, z. B. zwei Hauskanten u. dgl., von welchen Lichtstrahlen auf die Kathetenebenen AC und $A_1\,C_1$ fallen, als parallele senkrechte Linien erscheinen, oder einen Winkel mit einander bilden. Im letzteren Falle mufs die Fufsplatte des oberen Prisma's durch die Stellschrauben $\beta\,\beta$ so weit gegen das untere Prisma gedreht werden, bis die Objecte in paralleler, senkrechter Lage erscheinen. Zu diesem Zwecke müfsen selbstverständlich die beiden Zugschrauben $\alpha\,\alpha$ zuerst etwas gelüftet, nach erfolgter Drehung des Prisma's aber wieder fest angezogen werden.

Die parallele Stellung der über $A\,C$ und $A_1\,C_1$ stehenden Ebenen, also die senkrechte Lage der Hypotenusenebenen gegen einander läfst sich prüfen, wenn man durch drei Baken eine Gerade $P\,R\,Q$ absteckt, in dem mittleren Punkte R sich mit dem Prismenkreuz aufstellt und untersucht, ob die Bilder der beiden Stäbe P und Q in der Richtung $N_1\,M_1$ (Fig. 227.) genau in einer Verticallinie liegen oder etwa in P_1 und Q_1 erscheinen. Bezeichnet dann P_1 das Bild von P, Q_1 das von Q, so ist der Winkel $C\,D\,C_1$ ein stumpfer; ist aber P_1 das Bild von Q, Q_1 das von P, so ist $C\,D\,C_1$ ein spitzer Winkel und daher das obere Prisma durch Lösung der Zugschrauben so weit um seine Achse zu drehen, bis die Bilder von P und Q in M_1 liegen. Darauf sind die Schrauben $\alpha\,\alpha$ und nöthigenfalls auch die Stellschrauben $\beta\,\beta$ wieder anzuziehen.

Wie man nun mit dem berichtigten Prismenkreuze in einem gegebenen Punkte einer gegebenen Geraden eine Normale zu errichten, oder auf sie von einem gegebenen Punkte aufserhalb derselben eine Normale zu fällen, oder den Zwischenpunkt in einem gegebenen Alignement zu bestimmen hat, wird aus dem Vorhergehenden sich ohne Weiteres ergeben.

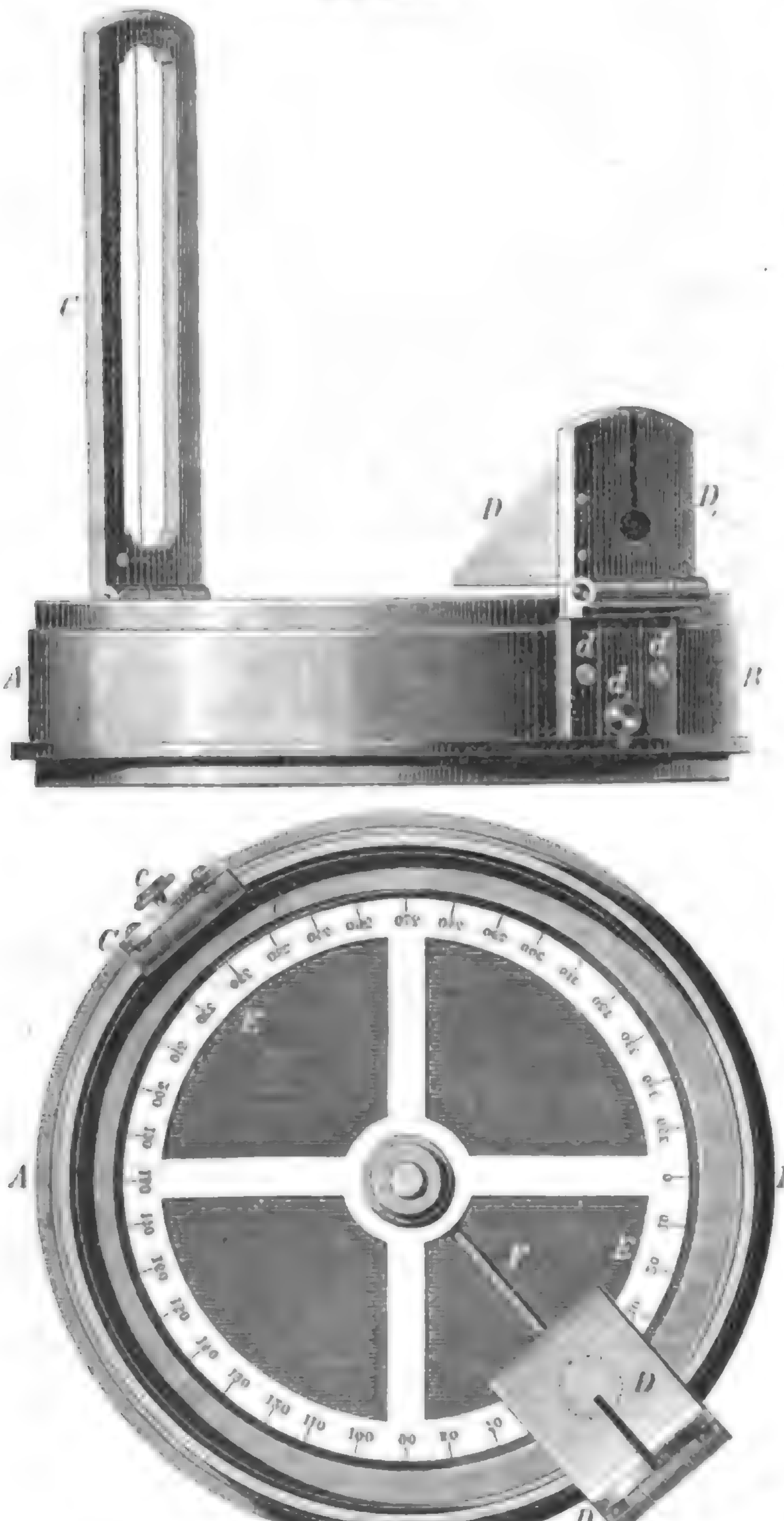
Anhang.

Die Handboussole von Schmalkalder.

§. 454.

Die Beschreibung der in Fig. 228. im Grundrifs und in vorderer Ansicht in wahrer Gröfse dargestellten Handboussole von Schmalkalder in London an dieser Stelle erscheint theils durch ihre Anwendung in freier Hand, theils durch die geringe Genauigkeit, deren sie als Winkelmefser fähig ist, wohl gerechtfertigt, wie sie denn überhaupt nur bei flüchtigen militairischen Aufnahmen ihre Anwendung findet.

Fig. 228.



An zwei diametral gegenüberliegenden Stellen des Randes einer cylindrischen Büchse $A\,B$ finden sich an Charnieren zum Auf- und Niederklappen ein Objectivdiopter C und ein in einem Gehäuse $D\,D_1$ liegendes gleichschenklicht-rechtwinklichtes Glasprisma, welches durch die in der Fafsung gelafsenen Oeffnungen als Oculardiopter dient. Die auf dem stählernen Stifte ruhende Magnetnadel trägt einen in Grade eingetheilten versilberten Kupferring $E\,E$, dessen Nullpunkt mit der Linie des magnetischen Meridians zusammen-

fällt. Auf den inneren Rand der Büchse kann zum Schutz der Nadel eine ebene Glasplatte gelegt werden, welche wieder durch einen übergelegten Ring gehalten wird. Ist das Oculardiopter, wie die Zeichnung angiebt, niedergeschlagen, so bildet die Hypotenusenebene gegen den Theilring einen Winkel von 45°, es erscheint daher dem hinter der Wand D_1 befindlichen Auge die verkehrt eingravierte Bezifferung der Theilung aufrechtstehend und in verticaler Lage, zugleich auch vergröfsert, da die dem Theilringe zugekehrte Kathetenfläche des Prisma's convex geschliffen ist. Durch die Coincidenz des auf ein bestimmtes Object gerichteten Objectivfadens mit einem Theilstriche läfst sich daher der Abweichungswinkel des magnetischen Meridians mit der Geraden, welche den Standpunkt mit dem Objecte verbindet, und daher auch der Winkel, welchen zwei solche Geraden in dem Standorte einschliefsen, bestimmen. Um das Glasprisma vor Staub zu schützen, kann die untere kreisförmige Oeffnung der Fafsung durch einen Deckel verschlofsen werden. Der schwalbenschwanzförmig gebildete Fortsatz der Ocularfafsung läfst sich zwischen den Platten *d d* auf- und niederschieben und dadurch, dafs der vorstehende Knopf d_1 auf den Vorsprung eines Hebels *F* drückt, die Nadel arretieren. Das Anhalten der zu stark oscillierenden Nadel geschieht durch den Knopf *c*, wodurch eine in dem Gehäuse befindliche Feder gegen die Kante des Theilringes gedrückt wird. Wird das Objectivdiopter auf die Glasplatte gelegt, das Oculardiopter aber zurückgeschlagen, so kann mittelst eines Deckels der Apparat verschlofsen werden.

Dritter Abschnitt.

Theorie, Beschreibung und Gebrauch der Instrumente und Hülfsapparate für Linienmefsungen.

§. 455.

Die zum unmittelbaren Mefsen der Linien anzuwendenden Apparate sind hinsichtlich ihrer Einrichtung verschieden, theils nach der Genauigkeit, welche man von der Mefsung fordert, theils nach der Art der Aufnahme, zu welcher die unmittelbare Mefsung der Linien dienen soll, theils endlich nach der Beschaffenheit des Terrains, auf welchem die Mefsung ausgeführt wird.

Die gröfste Genauigkeit wird selbstverständlich bei der Mefsung der Entfernung zweier Punkte nach einem gegebenen Mafse gefordert, welche die Grundlage eines gröfseren oder kleineren trigonometrischen Dreiecksnetzes werden soll. Man bedient sich hierzu, wenn das Dreiecksnetz einer Gradmefsung, oder überhaupt einer Mefsung auf einem solchen Theile der Erdoberfläche angehört, der nicht mehr als eben betrachtet werden darf, nur der metallenen Mefsstäbe. Gehört das Dreiecksnetz einer als eben anzunehmenden Flur an, z. B. der Aufnahme gröfserer Feldmarken oder Forsten u. s. w., so erfüllen schon gehörig eingerichtete hölzerne Mefsstäbe ihren Zweck.

Bei ökonomischen oder Kataster - Mefsungen, oder bei den Aufnahmen einzelner Grundstücke oder kleinerer Fluren dient zu Mefsungen der Linien die Mefskette, der einruthige Mefsstab und der Feldzirkel; bei der Aufnahme der Baulichkeiten wendet man mit Vortheil das Mefsband und bei der Mefsung der Ordinaten den Feldzirkel oder den Halbruthenstab an. Bei den beim Bergbau vorkommenden Längenmefsungen dient die Lachterschnur (Lachterkette) und bei den eigentlich topographischen und militairischen, mit dem Mefstisch ausgeführten Aufnahmen wendet man meistens die Distanzmefser an.

A. Längenmefsapparate zur Bestimmung der Grundlinie eines trigonometrischen Dreiecksnetzes.

§. 456.

1. Die metallenen Mefsstäbe.

Während in früherer Zeit zu den Mefsstäben wegen ihrer geringen Ausdehnung durch die Wärme zuweilen parallelepipedische Stäbe von Glas oder von Holz, welche letztere durch das Kochen in Leinöl und durch einen Anstrich von Oelfirnifs zugleich vor der Einwirkung der Feuchtigkeit geschützt werden können, angewandt wurden, finden jetzt nur Stäbe von Eisen, mit denen auf die später anzugebende Art noch ein anderes Metall, gewöhnlich Zink, verbunden wird, ihre Anwendung.

Die Zahl derselben ist vier. Um den Einflufs der folgenden Stange auf die vorhergehende zu vermeiden, wandte zuerst Borda sie so an, dafs sie einander nicht berühren, sondern eine geringe Entfernung von einander behalten, welche durch andere Mittel bestimmt wurde. Er nahm Platin, welches er mit einer Stange von Kupfer an dem einen Ende so befestigte, dafs das erste von der ganzen Kupferstange bis auf ein freies Ende bedeckt wurde, um bei der Annahme einer gleichen Temperatur beider Stangen durch den Unterschied der Ausdehnungen derselben an dem beweglichen Ende die durch die Wärme entstandene Veränderung mefsen zu können. Durch die Gröfse dieser relativen Aenderung der Stangen wurde daher das Mittel zum Erkennen der absoluten Aenderung der Platinstange gegeben.

Zu der Mefsung der Zwischenräume der Stangen wandten Reichenbach und Repsold einen in einem sehr spitzen Winkel geschliffenen und mit einer Eintheilung versehenen Glaskeil an, der, so weit er die Stangen berührt, zwischen sie geschoben wird.

Die Reichenbach'schen Mefsstangen endigen in keilförmige Schneiden von Stahl, von denen die eine die horizontale, die andere die lothrechte Lage hat. In dieser verschiedenen Lage der Schneiden wurden jede zwei auf einanderfolgende Stangen vor einander gebracht. Die Mefsstangen von Repsold dagegen wurden an einem Ende durch eine senkrechte Ebene abgeschnitten, während das andere kugelförmig abgedreht wurde. Letztere setzen daher immer eine horizontale Lage bei der Mefsung der Linie voraus, während die ersteren auch in einer geneigten Lage angewandt werden können.

§. 457.

Die Forderungen, welche an die zur Mefsung der Grundlinie für ein trigonometrisches Dreiecksnetz angewandten Metallmefsstäbe gestellt werden müfsen, lafsen sich in folgenden zusammenfafsen.

1. Von dem vorhandenen Originalmefstabe mufs die Längeneinheit auf die Mefsstäbe entweder mit vollkommener Genauigkeit übertragen oder es mufs das Verhältnifs ihrer Längen gegen das erstere genau bestimmt werden können.

2. Die Mefsstäbe müfsen entweder unmittelbar wagerecht gelegt werden können, oder sie müfsen die Mittel gewähren, den Einflufs ihrer Neigung aus dem Resultat zu schaffen.

3. Sie müfsen in einer geraden Linie auf einander folgen können und

4. mufs man die Veränderungen ihrer Länge, welche aus den Temperaturveränderungen entstehen, in jedem Augenblicke zu bestimmen im Stande sein.

Schon die Erfüllung dieser Bedingungen, eben so aber auch die Sorgfalt und der Aufwand an Hülfsmitteln, welche bei der Mefsung der Basis angewandt werden müfsen, macht sie zu einer der mühseligsten und zugleich kostbarsten Arbeiten des praktischen Geometers.

§. 458.

2. Die Einrichtung des Bessel'schen Mefsapparats.

Der Mefsapparat, wie er zu der Mefsung der Grundlinie bei der Gradmefsung in Ostpreufsen von Bessel *) angegeben wurde, besteht aus vier Mefsstangen, von denen die eine in Fig. 229. im Sechszehntel wahrer Gröfse mit dem verticalen Durchschnitt des umschliefsenden Holzkastens dargestellt ist.

Die Figg. 230. und 231. zeigen in halber wahrer Gröfse die einzelnen Theile desselben, theils in der Seitenansicht, theils im Durchschnitt. Die nämlichen Theile sind überall mit denselben Buchstaben bezeichnet.

Jeder der vier Mefsstäbe besteht aus einer parallelepipedischen Stange von Eisen ff, etwa 2 Toisen lang, 12 Linien breit und 3 Linien dick. Auf ihm liegt ein Stab von Zink zz von derselben Dicke und der halben Breite. An dem vorderen Ende sind beide Stäbe durch Schrauben und Löthung fest mit einander verbunden; bis zum anderen Ende sind sie zwar ohne Verbindung, aber durch genaues Abhobeln berühren sich ihre Ebenen so innig als möglich, so dafs bei beiden eine gleiche Temperatur angenommen werden darf. An beiden Enden des Zinkstabes sind Stahlstücke $\chi \chi_1$ mit horizontal liegenden keilförmigen Zuschärfungen aufgelöthet. Eben so ist auch auf das verlängerte freie Ende der Eisenstange ein Stahlstück mit senkrecht stehenden keilförmigen Zuschärfungen $s_1\, s$ ebenfalls durch Schrauben und Löthung befestigt.

Die Entfernung $\chi\, s$ wird demnach die Länge des Mefsstabes bestimmen, die Aenderung in der Entfernung $\chi_1\, s_1$ durch die Wärme aber die Aenderung der erwähnten Länge, also ein Metallthermometer zur Bestimmung dieser Aenderung, darstellen. Werden daher die Ausdehnungen des Eisens und Zinks durch die

*) Gradmefsung in Ostpreufsen und ihre Verbindung mit Preufsischen und Rufsischen Dreiecksketten. Ausgeführt von Bessel und Baeyer. Berlin 1838.

Fig. 229.

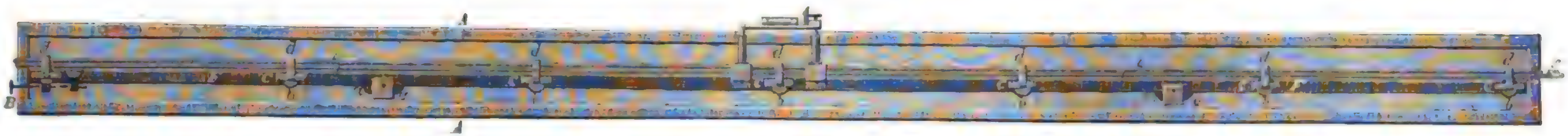
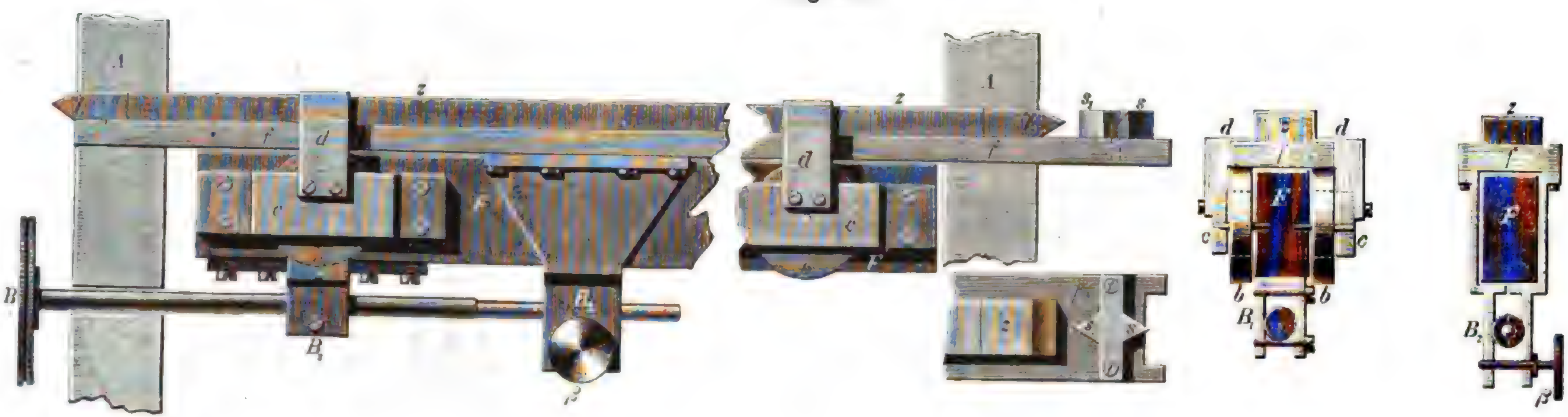


Fig. 230.



Wärme als proportional angenommen, so sind auch die Veränderungen der Entfernung $\chi_1 s_1$ und der Länge χs des Mefsstabes, den Angaben des Metallthermometers proportional.

Jeder der Mefsstäbe wird von einem Holzkasten *A A* umgeben, aus dessen schmäleren Seitenwänden nur die keilförmigen Schneiden $\chi \chi_1$ der Zink- und das Stahlstück $s_1 s$ der Eisenstange hervorragen.

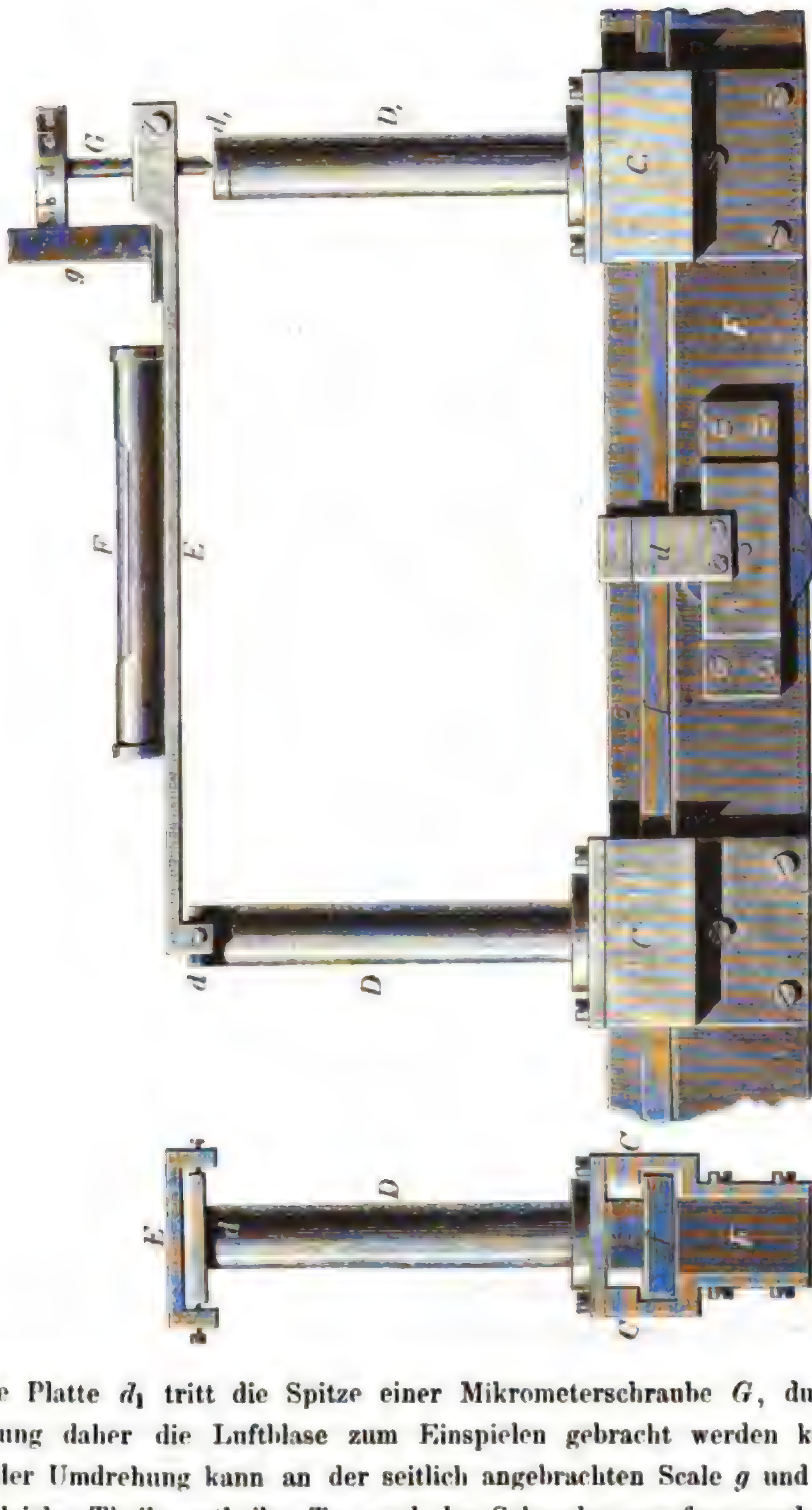
Zur Vermeidung der Biegung hat die Mefsstange in Entfernungen von beinahe 2 Fufs, sieben Ruhepunkte, welche angebracht sind an einer 6 Linien dicken und 14 Linien hohen Eisenstange *F F*, die durch die ganze Länge des Kastens geht und in gleichen Abständen (etwa ¼ der ganzen Länge) von den Enden auf zwei, in dem Kasten befestigten gabelförmigen Trägern $a\, a_1$ (Fig. 229.) ruht. Zu diesem Zwecke ist an der Unterfläche der Eisenstange ein halbkreisförmiges Stück Eisen $\alpha\, \alpha_1$ festgelöthet, das an jeder Seite einen Zapfen trägt, welcher in den Gabeln des Trägers liegt. Um aber hierbei den Einflufs jeder Aenderung der Gestalt und Länge des Kastens auf die Eisenstange zu vermeiden, ist das Zapfenloch des einen Trägers a_1 nicht kreis- sondern ovalrund ausgedreht.

Die erwähnten sieben Ruhepunkte liegen auf der Oberfläche eben so vieler Rollenpaare *b*, *b*, *b* . . . (Figg. 229. und 230.), deren Zapfen theils in der Eisenstange *F F*, theils in seitlich an derselben festgeschraubten Lagern *c c* . . . ruhen. Die höchsten Punkte dieser etwas ungleichen Durchmefser haltenden Rollen ragen sehr wenig über die Oberfläche der Eisenstange hervor und ist der Durchmefser derselben so bestimmt, dafs eine ausgespannte Metallsaite alle zugleich berührt, wenn die Eisenstange auf ihren Trägern liegt, so dafs die Oberfläche der Rollen, obgleich die Eisenstange durch ihr eigenes Gewicht gebogen wird, in einer Ebene liegen.

Ohne die Eisenstange zu berühren, ruht also der Mefsstab auf den sieben Rollenpaaren und kann durch eine Mikrometerschraube, deren Kopf *B* aus dem Kasten hervorragt, leicht ihrer Länge nach bewegt werden. Die Klemme B_1 für die Kugel der Schraube ist durch Zugschrauben an der Eisenstange, die Klemme B_2 für die Mutter an der Mefsstange *f f* befestigt. Durch die Klemmschraube β kann der etwa eintretende todte Gang beseitigt werden. Damit durch diese Bewegung die Mefsstange keine seitliche Verschiebung erleidet, sind an jedem Rollenpaare Klammern *d d d* . . . angebracht, welche den Zink- und Eisenstab fast berühren.

Zur Mefsung der Neigung des Mefstabes ist in seiner Mitte das in Fig. 231. in halber wahrer Gröfse dargestellte Gestell für die Röhrenlibelle befestigt. Zwei an der Eisenstange *F F* so befestigte Klammernpaare $C C_1$, dafs die Mefsstange zwischen ihnen frei sich bewegen läfst, tragen zwei senkrechte Cylinder D, D_1, auf deren oberer Grundebene wieder Platten von Stahl d, d_1 befestigt sind. In die parallelepipedisch geformte Platte *d* treten zwei Schraubenspitzen ein, um welche die Unterlage *E* der Röhrenlibelle *F* sich drehen läfst. Auf die cylindrisch

Fig. 231.



geformte Platte d_1 tritt die Spitze einer Mikrometerschraube G, durch deren Umdrehung daher die Luftblase zum Einspielen gebracht werden kann. Die Gröfse der Umdrehung kann an der seitlich angebrachten Scale g und durch die in 50 gleiche Theile getheilte Trommel der Schraube gemefsen werden. Wenn daher die Angabe der zu der horizontalen Lage der Mefsstange gehörigen Theilungen und die zu einer Schraubenumdrehung gehörige Neigung der Mefsstange ermittelt worden sind, so kann man durch das Einspielen der Luftblase

der Libelle und durch die Ablesung an den Theilungen die Neigung der Mefsstange bestimmen.

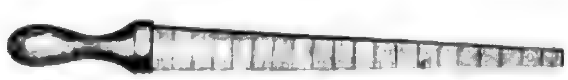
Wie Fig. 229. zeigt, tritt dieser Apparat aus einer Oeffnung in dem Deckel des Kastens hervor.

Zur Bestimmung der Länge der Mefsstäbe für bestimmte Grade der Temperatur oder zur Vergleichung der Temperatur des Mefsstabes mit der Temperatur der Luft im Kasten dient ein Quecksilberthermometer, welches in der Mitte zwischen dem vorhin erwähnten Apparate und dem einen Ende der Mefsstange, etwa einen Zoll über der letzteren befestigt ist. Durch eine in dem Deckel des Kastens angebrachte Glasscheibe, die durch einen Deckel von Holz zu verschliefsen ist, kann die Ablesung bequem und sicher ausgeführt werden.

§. 459.

Wie schon erwähnt, werden sowohl die Zwischenräume des Metallthermometers, zwischen χ_1 und s_1, als auch die zwischen den Schneiden zweier auf einander folgender Mefsstäbe durch Glaskeile bestimmt, deren einer in Fig. 232. dargestellt ist.

Fig. 232.



Die von Bessel angewandten Glaskeile wurden dadurch erhalten, dafs sie in einem Stück geschliffen wurden, dessen dickeres Ende etwas mehr als 2 Linien und dessen dünneres Ende etwas weniger als 0,8 Linien dick war, und dafselbe dann durch parallele Ebenen in etwa 3 Linien breite Stücke geschnitten wurde. Zwischen zwei Punkten der Keile, an welchen ihre Dicke sehr nahe 0,8 und 2 Linien betrug, wurden 120 Striche in gleichen Entfernungen so gezogen, dafs sie zu der den Winkel der schiefen Ebenen gehörenden Halbierungslinie normal standen. Da die Länge zwischen den 120 Strichen 41 Linien betrug, also jede zwei etwa 0,33 . . . Linien von einander entfernt waren, so war jeder nach dem dickeren Ende zu liegende Strich um 0,01 Linien länger, als der vorhergehende, so dafs also durch Schätzung durch die Keile noch Tausendstel einer Linie bestimmt werden können, wenn die Dicke der Keile an den verschiedenen Punkten ihrer Eintheilungen genau bekannt ist. Das zu diesem Zwecke von Bessel angewandte Verfahren ist in dem oben citierten Werke S. 15. näher beschrieben.

Vergleichung der Längen der Mefsstäbe unter einander.

§. 460.

Wegen der Unmöglichkeit, die vier in Anwendung zu bringenden Mefsstäbe vollkommen gleich lang zu machen, wird es zur Bestimmung der wahren Länge derselben, in Bezug auf ein gegebenes Originalmafs, zunächst darauf ankommen,

die Längen derselben mit einander zu vergleichen. Werden aber die Ausdehnungen des Eisens und Zinks durch die Wärme einander proportional angenommen, so ist diese Vergleichung durch die Angaben des Metallthermometers (§. 458.) ohne Weiteres möglich, indem man die Veränderungen der Entfernung $\chi_1 s_1$ (Fig. 230.) mit der proportionalen Veränderung der Länge der Mefsstange χs, mit einer bestimmten constanten Länge vergleicht. Bezeichnet man daher für einen der Mefsstäbe die Angabe des Metallthermometers durch a, das Verhältnifs ihrer Veränderung zu der Veränderung der Länge des Stabes durch $1 : m$, die zu a gehörige Länge des Stabes durch l und die zu $a = 0$ gehörige durch λ, indem bei gleicher Temperaturänderung das Eisen sich weniger ausdehnt, als das Zink, es also eine Temperatur geben mufs, bei welcher $\chi_1 s_1 = 0$ ist, so ist

$$l = \lambda - a\,m.$$

Diese Gleichung wird für jeden der vier Stäbe vorhanden sein, nur für jeden auch andere Werthe der darin vorkommenden Gröfsen liefern. Es ist daher

für den Mefsstab Nr. 1 $l_1 = \lambda_1 - a\,m_1$

„ „ „ „ 2 $l_2 = \lambda_2 - b\,m_2$

„ „ „ „ 3 $l_3 = \lambda_3 - c\,m_3$

und „ „ „ „ 4 $l_4 = \lambda_4 - d\,m_4$.

Setzt man nun

$$\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4 = 4\,L$$

und bezeichnet die Abweichung jeder einzelnen von dem mittleren Werthe L beziehungsweise durch x_1, x_2, x_3, x_4, so ist

$$\lambda_1 = L + x_1$$
$$\lambda_2 = L + x_2$$
$$\lambda_3 = L + x_3$$
$$\lambda_4 = L + x_4.$$

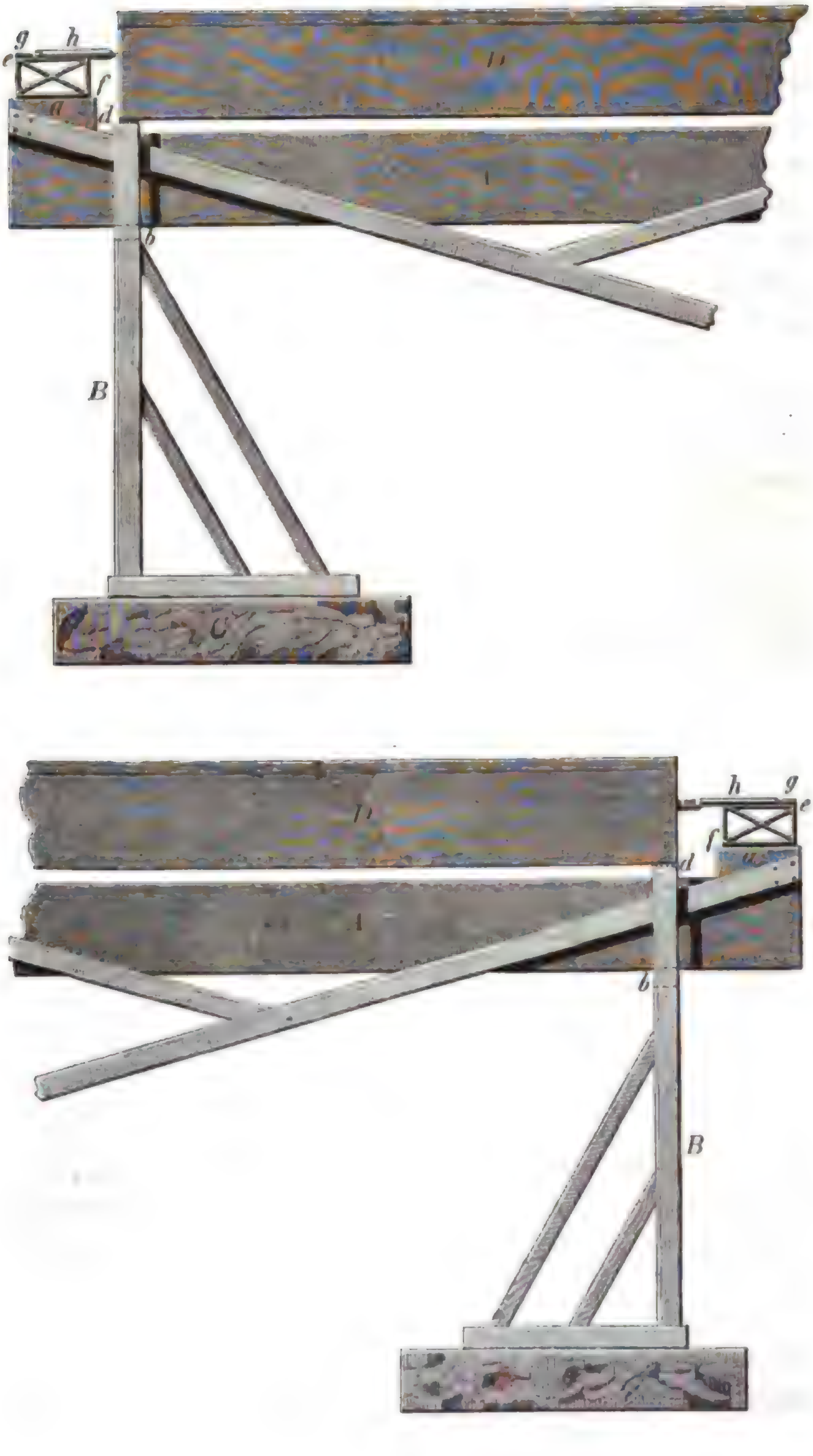
Da nun die Summe dieser Werthe $4\,L$, also $x_1 + x_2 + x_3 + x_4 = 0$ sein mufs, so erhält man durch Substitution der Werthe für λ_1, λ_2 ...

$$l_1 = L + x_1 - a\,m_1$$
$$l_2 = L + x_2 - b\,m_2$$
$$l_3 = L + x_3 - c\,m_3$$
$$l_4 = L + x_4 - d\,m_4,$$

so dafs es nur noch darauf ankommt, die Werthe von x_1, x_2 ... und von m_1, m_2 ... zu bestimmen, um die Mefsstäbe mit einander vergleichen zu können. Ist nun auch L bekannt, so sind auch die absoluten Längen der Mafsstäbe gegeben.

Zu der Bestimmung der Werthe von x_1, x_2 ... und m_1, m_2 ... dienen eigens construierte Apparate, welche man Comparatoren nennt. Der von Bessel angewandte ist im Sechszehntel der wahren Gröfse in Fig. 233. dargestellt und besteht in zwei Stahlcylindern, welche, um etwas mehr als die Länge der Mefsstäbe von einander entfernt, sich so in zwei Bahnen bewegen lafsen, dafs

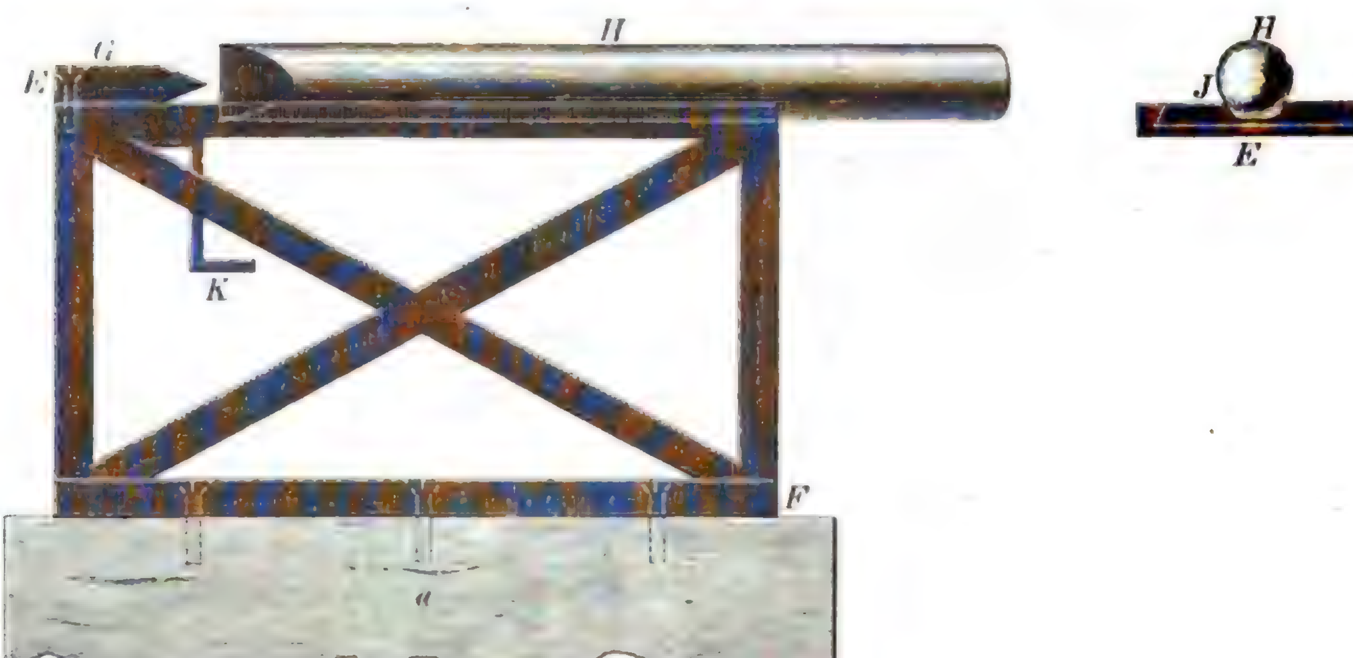
Fig. 233.



ihre Achse in dieselbe Gerade fallen, in welcher die Achse des Mefsstabes liegt, um die sphärisch abgeschliffenen Enden der Cylinder den keilförmigen Schneiden des Mefsstabes bis zur Berührung nähern zu können. Die Metallgestelle der Cylinder ruhen auf zwei Aufsätzen *a a* eines durch Streben verstärkten hohlen Parallelepipedums *A A*, welches auf den Querhölzern *b b* zweier durch Gewichte hinreichend belasteter Böcke *B B* liegt. Letztere stehen auf gehörig isolierten Steinplatten *C C*. Auf den oberen Enden der senkrechten Pfeiler der Böcke liegen Eisenplatten *d d*, auf welche der Kasten *D D* des Mefsstabes zu liegen kommt, so dafs letzterer also aufser allem Einflufs auf den Comparator ist.

Fig. 234. zeigt in halber wahrer Gröfse den einen Cylinder des Comparators nebst dessen Zubehör. An der oberen Platte *E* des messingenen Gestelles *E F*

Fig. 234.



ist an dem einen Ende der Keil *G* von Stahl durch Schrauben und Löthung befestigt. Der Cylinder *H*, dessen dem Keile zugewandtes Ende keilförmig abgeschnitten ist, liegt in einer Bahn *J*, auf welcher der Cylinder nicht nur um seine Axe zu drehen, sondern auch mit ihr in der Richtung der Axe des Mefsstabes sanft zu verschieben ist, damit das abgeschliffene Ende des Cylinders mit dem Keil χ (Fig. 230.) des einen Endes des Mefsstabes oder dem am entgegengesetzten Ende sich befindenden Keile *s* zur Berührung gebracht werden kann. Die Entfernung der senkrecht gestellten keilförmigen Schneiden der Cylinder von den Stahlkeilen *G* wird wieder durch den Glaskeil bestimmt. Die senkrechte Stellung der Schneiden des Cylinders wird durch einen Strich erkannt, der auf einem hakenförmigen Ansatze *K* gezogen ist und durch ein Loch in der Platte *E* beobachtet werden kann. In Fig. 233. sind dieselben Theile durch die

nämlichen Buchstaben des kleinen Alphabets bezeichnet. Um die Axen der Cylinder mit der Axe des Mefsstabes in eine gerade Linie zu bringen, wandte Bessel das von dem verstorbenen Repsold angegebene Verfahren an. Man legt einen, senkrecht auf seine Axe abgeschnittenen und an der Durchschnittsebene polierten Cylinder auf die eine Bahn und beurtheilt durch die Reflexion des Bildes eines leuchtenden Punktes, ob die reflectierende Ebene senkrecht auf der Linie steht, in welcher die Axe des Cylinders liegen soll. Da diese Linie durch die Axe des anderen Cylinders geht, erlangt man die beabsichtigte Prüfung, wenn man ein, an drei in gerader Linie und in gleichem Abstande von einander liegenden Punkten, durchbohrtes Lineal mit seinem mittleren Loche auf diesen Cylinder steckt und untersucht, ob eine durch das eine der Seitenlöcher durchscheinende Lichtflamme nach dem anderen reflectiert wird, was durch das hinter diesem Loche befindliche Auge beurtheilt werden kann.

Ob die Schneiden an dem Mefsstabe genau in der Axe des Cylinders liegen, erfährt man leicht durch Umlegen der Cylinder, so dafs ihre keilförmigen Schneiden den Schneiden des Mefsstabes zugewandt werden. Durch eine halbe Umdrehung der Cylinder in ihren Bahnen kann man beurtheilen, ob ihre Schneiden genau durch ihre Axen gehen.

Ist nun der Abstand der beiden Schneiden G des Comparators $= A$, werden ferner die Entfernungen der nämlichen Schneiden von den keilförmigen Enden der beiden Cylinder H durch e_1 und ε_1, die Länge der beiden Cylinder durch c und c_1 und die Länge des Mefsstabes durch l_1 bezeichnet, so ist

$$A = c + c_1 + l_1 + e_1 + \varepsilon_1.$$

Für einen zweiten Mefsstab von der Länge l_2 und für den am Glaskeile die Ablesungen e_2 und ε_2 sich ergeben, ist also

$$A = c + c_1 + l_2 + e_2 + \varepsilon_2,$$

folglich

$$l_1 - l_2 = (e_2 + \varepsilon_2) - (e_1 + \varepsilon_1).$$

Analoge Ausdrücke ergeben sich für jede zwei andere Mefsstäbe, so dafs also die gewünschte Vergleichung der Längen der Mefsstäbe unter einander erreicht ist.

Um aber auch die Unrichtigkeit zu eliminieren, welche dadurch in den erhaltenen Resultaten sich findet, dafs während der Dauer der Vergleichungen der Mefsstäbe, durch Aenderungen in der Wärme und der Feuchtigkeit der Luft, der Untersuchungsapparat eine Aenderung erleidet, wird man nur eine zweite Beobachtungsreihe in umgekehrter Ordnung an den Mefsstäben auszuführen und aus den Resultaten beider Beobachtungsreihen das arithmetische Mittel zu nehmen haben.

§. 461.

Bezeichnet man den Unterschied der unbekannten Entfernung A der Schneiden der Keile G des Comparators und der ebenfalls unbekannten Summe der Längen der beiden Cylinder H $(= c_1 + c_1)$ durch $L + C$, die Summe der Gröfsen

$e_1 + \varepsilon_1$, $e_2 + \varepsilon_2 \ldots$ aber durch n_1, n_2, n_3, n_4, so erhält man für die vier Mefsstäbe, als Ausdrücke ihrer Längen

$$l_1 = L + C - n_1$$
$$l_2 = L + C - n_2$$
$$l_3 = L + C - n_3$$
$$l_4 = L + C - n_4.$$

Ist aufserdem bei jeder Vergleichung die Angabe des Metallthermometers beobachtet, so erhält man nach dem vorigen Paragraph

$$l_1 = L + x_1 - a\,m_1$$
$$l_2 = L + x_2 - b\,m_2$$
$$l_3 = L + x_3 - c\,m_3$$
$$l_4 = L + x_4 - d\,m_4,$$

folglich ist durch Vergleichung beider Ausdrücke

$$n_1 = C - x_1 + a\,m_1$$
$$n_2 = C - x_2 + b\,m_2$$
$$n_3 = C - x_3 + c\,m_3$$
$$n_4 = C - x_4 + d\,m_4.$$

In diesen Gleichungen ist C, x_1, $x_2 \ldots$ und m_1, $m_2 \ldots$ unbekannt, aber nach §. 460. ist $x_1 + x_2 + x_3 + x_4 = 0$, also sind aufser C nur noch 7 noch Unbekannte in den 4 Gleichungen vorhanden. Bei h Vergleichungen aller vier Mefsstangen, die also immer einen anderen Werth von C geben werden, oder aus $4h$ Beobachtungen und eben so viel Gleichungen wird man daher $h + 7$ unbekannte Gröfsen zu bestimmen haben, nämlich h verschiedene C, vier m und drei x.

Stellt man nun die Vergleichungen sowohl in niedrigen, als in hohen Temperaturen an und fügt denselben solche hinzu, bei welchen, abwechselnd, zwei derselben eine niedrige, die beiden anderen eine hohe Temperatur, in einem stark erwärmten Zimmer ausgeführt, besitzen, so wird man sowohl die verschiedenen x als die verschiedenen m mit der erforderlichen Sicherheit erhalten.

§. 462.

Durch Hülfe des Comparators wird man in den Stand gesetzt, nicht nur die der horizontalen Lage der einzelnen Mefsstäbe entsprechende Stellung der Trommel der Mikrometerschraube G (Fig. 231.), sondern auch die einer Umdrehung der Schraube entsprechende Höhenänderung des einen Endes der Mefsstäbe oder deren Neigung gegen den Horizont für jeden einzelnen derselben zu ermitteln.

Man bringe die Achse eines Mefsstabes mit den Schneiden der Cylinder H des Comparators (Fig. 234.) in eine gerade Linie, stelle die Luftblase ein und lese den Stand a_1 der Trommel ab. Darauf bringe man den Kasten des Mefsstabes auf den Eisenplatten dd (Fig. 233.) in eine um 180° verschiedene Lage,

stelle die Achse desselben wieder mit den Schneiden der Cylinder H in eine Gerade, stelle zugleich auch die Luftblase ein und lese den Stand α_1 an der Trommel ab, so ist $\frac{1}{2}(a_1 + \alpha_1)$ die der horizontalen Lage des Mefsstabes 1. entsprechende Stellung der Schraube. Dieselbe Bestimmung wird an den drei anderen Mefsstäben ausgeführt.

Erhöhet man das eine Ende des auf den Eisenplatten $d\,d$ (Fig. 233.) ruhenden Mefsstabes um einige Zolle, bringt die Luftblase der Libelle zum Einspielen und mifst mit einer besonderen Scale die Höhen beider Enden des Mefsstabes über der die Achsen der Cylinder H (Fig. 234.) verbindenden geraden Linie und wiederholt diefs Verfahren, indem man das vorher erhöhte Ende erniedrigt und das entgegengesetzte erhöht, so erhält man die einer Umdrehung der Schraube entsprechende Neigung des Mefsstabes gegen den Horizont.

Bezeichnet man die eine dieser Zahlen durch q, die der horizontalen Lage des Mefsstabes zugehörige Angabe der Schraube G durch S, so wird die zu einer anderen Angabe s derselben gehörige Neigung i durch den Ausdruck

$$\operatorname{tg} i = \frac{s - S}{l}\, q$$

gefunden, wenn l die Länge des angewandten Mefsstabes ausdrückt.

Es ist daher

$$l \cos i$$

die auf die horizontale Ebene reducierte Länge desselben nnd

$$l \sin i$$

die Erhöhung des einen Endes desselben über dem anderen.

Bestimmung der wahren Länge der Mefsstäbe nach der Toise als Originalmafs.

§. 463.

Nach der nach dem vorigen Paragraphen möglichen Vergleichung der vier Mefsstäbe unter einander, wird es zur Bestimmung ihrer wahren Länge nur noch darauf ankommen, den Werth der Constante L zu bestimmen, wozu die Vergleichung des einen der Mefsstäbe mit dem gegebenen Originalmafse erforderlich ist.

Wäre Statt der Toise eine Doppeltoise vorhanden, so würde auf die Eisenplatten $d\,d$ der Fig. 233. nur eine Unterlage für die Doppeltoise hinzuzufügen und ihre Achse in die Richtung der Achsen der beiden Cylinder des Comparators zu bringen sein. Für die Mefsstange 1. würde daher, wie im vorigen Paragraph

$$l_1 = L + C - n_1$$

und für die aufgelegte Doppeltoise $= 2\,T$, wenn man die Summe der mit dem Glaskeil gemefsenen Zwischenräume $= n$ setzt,

$$2\,T = L + C - n,$$

folglich $l_1 + n_1 = 2T + n$,

oder, da $l_1 = L + x_1 - a m_1$ ist,

$$L = 2T - x_1 + a m_1 + n - n_1$$

sein, wodurch also die Längen l_1, l_2, l_3, l_4 sich ergeben würden.

Da aber in der Wirklichkeit nur die einfache Toise zur Anwendung kommt, so bedarf man noch eines Apparates, wodurch die Toise verdoppelt werden kann. Er besteht aus einer zu ihrer Verstärkung mit Streben versehenen hölzernen Unterlage, welche, bis auf eine Länge von fast 6 Zoll in der Mitte, der Länge nach zwei Einschnitte zu Bahnen für vier, durch cylindrische Achsen mit einander verbundene Rollenpaare hat. Auf diese Achsen kann die Toise gelegt und mittelst der Rollen vor- und rückwärts gefahren werden. In der Mitte der Unterlage ist eine Platte von Messing aufgeschraubt, auf welcher zwei einander gleiche, an einem Ende sphärisch abgeschliffene Cylinder, ähnlich wie die Cylinder der Comparatoren, in einer Bahn in der Richtung ihrer Achsen verschoben und dann durch angebrachte Klemmen festgestellt werden können. Die Figg. 235., 236. und 237. zeigen in halber wahrer Gröſse die erwähnten Theile im Grundriſs, Aufriſs und verticalen Durchschnitt. *A A* bezeichnet die Unterlage; *a*, *a*, *a*, *a* die Einschnitte, von denen Fig. 236. nur den vorderen *a a* mit den vorderen Rollen *B B* zweier Rollenpaare, Fig. 235. aber ein durch seine Achse *b* verbundenes Rollenpaar $B\,B_1$ im Grundriſs darstellt; *C C* bezeichnet die Messingplatte mit den Cylindern $D\,D_1$, den Klemmen $d\,d_1$ und den Preſsschrauben $\delta\;\delta\;\delta_1\;\delta_1$ in Fig. 235., während Fig. 236. nur den Cylinder *D* mit der zugehörigen Klemme *d* und den Preſsschrauben $\delta\;\delta$, auſserdem aber noch die auf die Achsen der Rollenpaare gelegte Toise *T T* darstellt. Fig. 237. zeigt im Durchschnitt auſser der

Fig. 235.

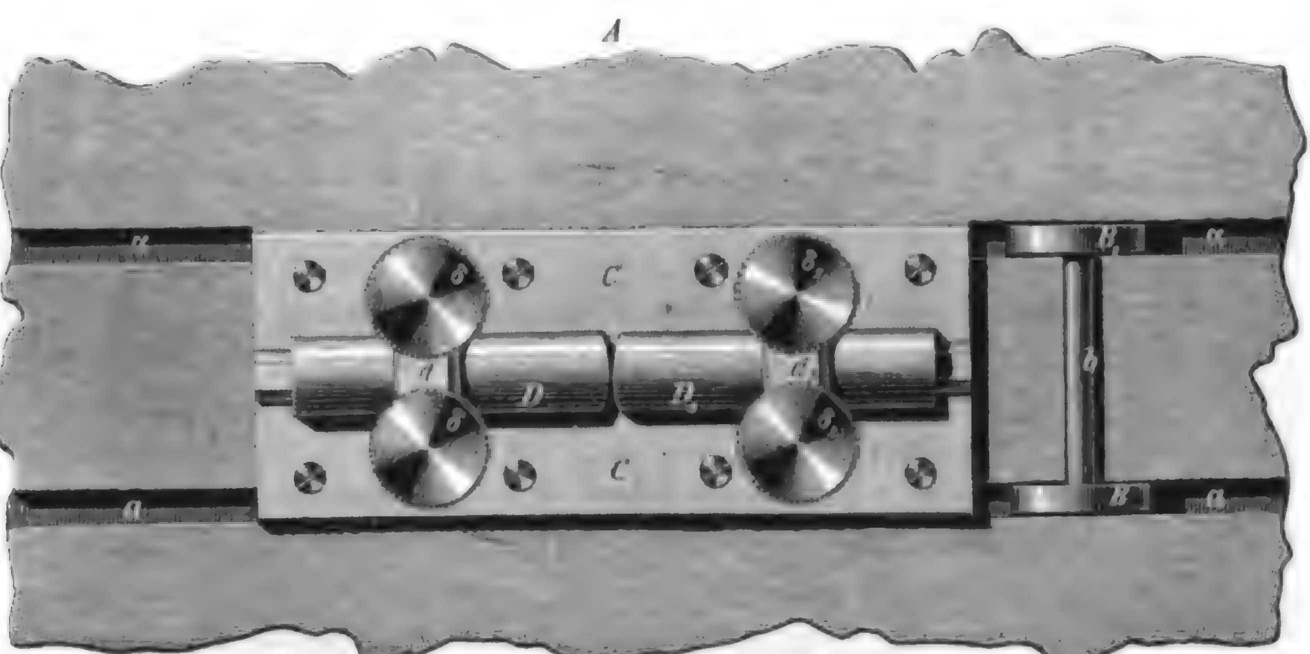


Fig. 236.

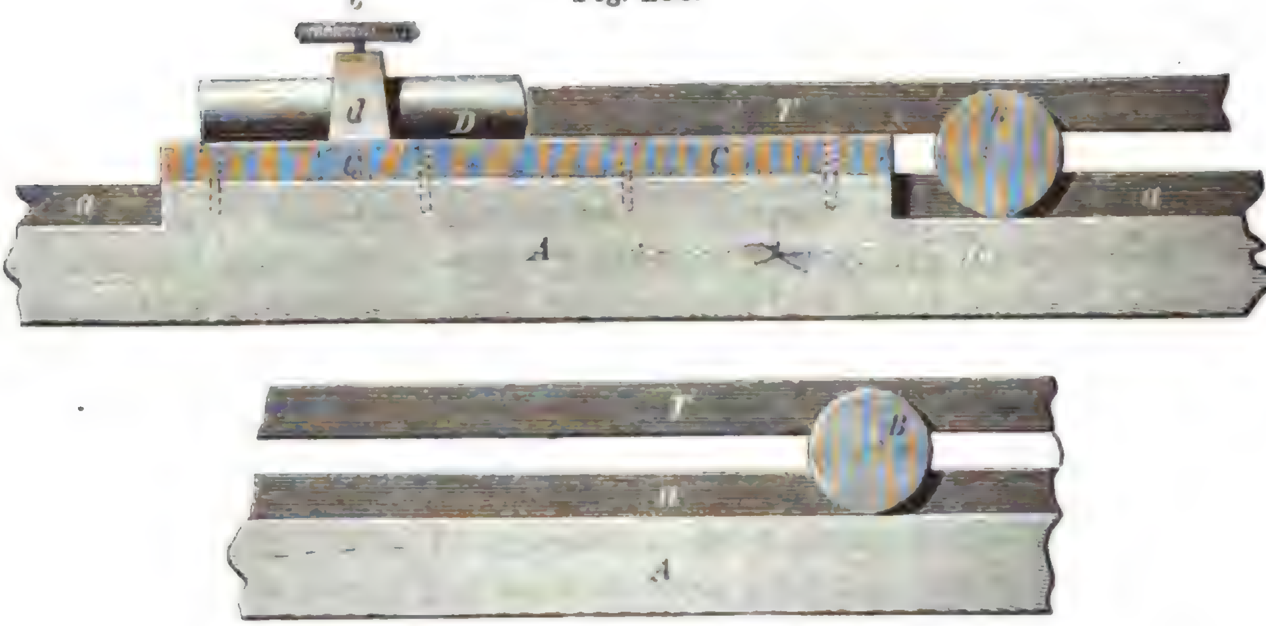
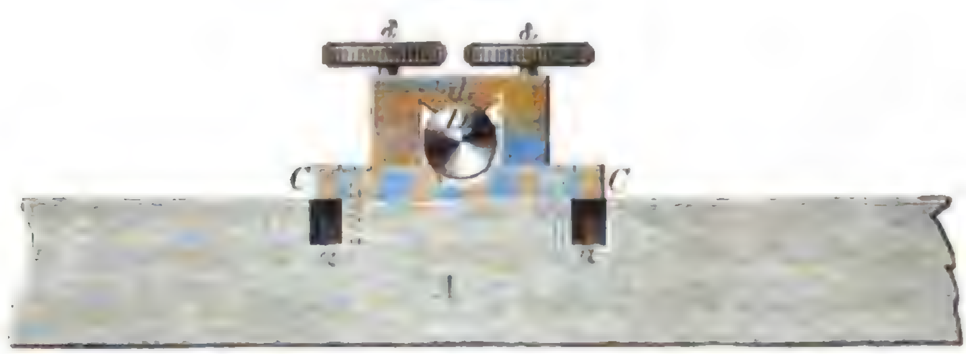


Fig. 237.



Unterlage A mit ihren Einschnitten a, a und der Platte CC nur den Cylinder D_1 mit der zugehörigen Klemme d_1 und den Schrauben δ_1 δ_1.

§. 464.

Die Verdoppelung der Toise erlangt man nun auf folgende Weise. Man klemmt zuerst den einen Cylinder, z. B. D in der in den Figg. 235. und 236. angegebenen Lage fest, entfernt den anderen Cylinder D_1 und bringt das ihm zugewandte Ende der auf den vier Rollenpaaren liegenden Toise in Berührung mit seiner sphärisch abgeschliffenen Fläche, schiebt das convexe Ende des Cylinders H, h des Comparators (Figg. 233. und 234.) an das andere Ende der Toise und mifst mit dem Glaskeile die Entfernung zwischen der Schneide des genannten Cylinders und dem festen Keile G, g.

Dann schiebt man die Toise seitwärts, bringt den Cylinder D_1, in der in Fig. 235. dargestellten Lage, vor den noch festgeklemmten Cylinder D, dafs die convexen Flächen beider sich berühren und klemmt D_1 in dieser Lage fest. Darauf nimmt man den Cylinder von seiner Unterlage, bringt die vier Rollenpaare mit der Toise auf die andere Hälfte der hölzernen Unterlage und verfährt

mit der Berührung des Cylinders $H\,h$ des Comparators und der Bestimmung des Zwischenraumes seiner Schneide und des Keiles $G\,g$ (Figg. 233. und 234.) wie vorhin, so erhält man dadurch den Werth für $2\,T$, woraus dann nach §. 462. der Werth für L und daraus dann $l_1\,l_2\,\ldots$ sich ergiebt.

Bei dieser Bestimmung wird aber gefordert, dafs die Mittelpunkte der sphärischen Flächen der Cylinder D und D_1 genau in ihren Achsen liegen. Bringt man über diese Flächen ein auf den Berührungspunkt gerichtetes Mikroskop, so darf derselbe bei der Bewegung des einen oder anderen Cylinders im Mikroskope in seiner Lage sich nicht ändern. Ob die Achsen der vier Rollenpaare in einer Ebene liegen, erkennt man durch eine ausgespannte Metallsaite. Aufserdem bedarf es einer sorgfältigen Construction der Klemmen, damit beim Anziehen der Schrauben die Cylinder nicht seitlich verschoben werden, was wieder durch ein aufgesetztes Mikroskop erkannt werden kann.

Mefsung einer durch ihre Endpunkte gegebenen Linie mittelst der Mefsstäbe.

§. 465.

Die Vorbereitungen der Mefsung bestehen in der Wegräumung oder Ausfüllung der gröfsten Unebenheiten des Bodens und in der Aussteckung der Richtung der Linie, worunter hier die Grundlinie zu einem trigonometrischen Dreiecksnetz gedacht wird. Die Richtung wird durch eine Reihe weifs angestrichener Pfähle in 60 bis 70 Fufs Entfernung von einander bestimmt, die aber nur den Zweck haben, um die Richtung für die Bretter zu erhalten, auf welche die Böcke für die Unterlage der Kasten der Mefsstäbe gestellt werden. Zu der Bestimmung der Richtung der Pfähle dient ein zunächst auf dem einen Endpunkte und später auf einem anderen bereits bestimmten Zwischenpunkte aufgestellter Theodolith oder Passageninstrument. Aufser jenen Pfählen werden noch an mehreren anderen Punkten der Linie in einem Dreiecke stehende Pfähle bis zur Oberfläche des Bodens eingeschlagen, welche die Unterlage für die Füfse des Stativs des Passageninstruments bilden sollen, durch welches den Mefsstäben die erforderliche Richtung in die Linie gegeben wird.

Die Unterlage für die Kasten der Mefsstäbe bilden 18 Zoll hohe Böcke von Eichenholz, welche auf die vorhin erwähnten Bretter von demselben Holze gelegt und mit aufgesetzten Gewichten belastet werden. Die Bretter liegen bei einem weicheren Boden auf drei, 18 Zoll langen und 3 Zoll dicken Pfählen, die so tief in die Erde gerammt werden, dafs die darauf gelegten Bretter den Boden beinahe berühren. Bei einem harten Boden wendet man Statt der Pfähle drei, etwa 10 Zoll lange eiserne Nägel an, die an ihrem oberen Ende Flanschen enthalten, auf welche die mit Einschnitten versehenen Ränder des Bretts gelegt werden. Durch Schläge mit einem hölzernen Hammer auf die oberhalb der Flanschen befindlichen Köpfe

der Nägel kann man diese so weit in den Boden treiben, dafs den Brettern, ohne sie abzunehmen, eine horizontale Lage gegeben werden kann.

Das hintere Ende des Kastens, nämlich dasjenige, aus welchem die horizontale Schneide χ des Mefsstabes und der Kopf B der Mikrometerschraube (Fig. 230.) hervorragen, ruht auf der Spitze einer Schraube, die sich an dem darunter stehenden Bocke befindet und kann durch letztere nach Umständen erhöht und erniedrigt werden. Das vordere Ende des Kastens, also das, aus welchem die verticale Schneide s des Mefsstabes hervorragt, ruht dagegen auf einer Linie, welche durch die Seite eines auf einem Brette angebrachten Halbcylinders gebildet wird. Diefs Brett liegt nicht unmittelbar auf der Oberfläche des Bocks, sondern ruht auf zwei Paaren von Keilen, welche, mit ihren Schärfen zusammengeschoben, eine Erhöhung oder Erniedrigung und zugleich, nach einer aufgesetzten Setzwage, eine horizontale Lage der Cylinderseite möglich machen. Das Brett wird so gestellt, dafs die Cylinderseite normal zur Achse des Kastens steht, dessen Ende etwa zwei Fufs über den untenstehenden Bock hervorragt. Durch diese Einrichtungen ist daher jeder Kasten vollständig und sicher unterstützt.

§. 466.

In der vorher angegebenen Lage der Mefsstäbe beginnt die Mefsung der Linie damit, dafs man den in die Richtung der Linie gebrachten Mefsstab I., falls diefs zuläfsig ist, mit seiner horizontalliegenden Schneide bis nahe vor den Anfangspunkt der Basis, welcher durch den Mittelpunkt der oberen Grundebene eines in einen Steinpfeiler gelafsenen und aus letzterem hervorragenden Messingcylinders gebildet wird, und durch Anwendung der Schraube B (Fig. 230.) die Schneide mit ihm zur Berührung bringt. Kann aber der Mefsstab nicht in die vorhin vorausgesetzte Lage gebracht werden, so ist die horizontale Schneide desselben bis auf eine durch einen genau abgeglichenen Mafsstab mefsbare Entfernung und dann bis zur Endfläche des Mefsstabes zur Berührung zu bringen. Den Mefsstab I. bringt man in die Richtung der Linie durch Zeichen, welche ein Beobachter an dem in derselben aufgestellten Passageninstrument giebt, welches durch das Erscheinen des bei s (Fig. 230.) liegenden Einschnitts am vorderen Ende des Mefsstabes, unter dem Faden des Instruments, beurtheilt werden kann. Sobald der Mefsstab I. richtig liegt, wird Nr. II. aufgelegt, der horizontale Keil χ durch die Stellschraube des hinteren Bocks bis zur Achsenhöhe von Nr. I. gestellt und durch Seitenbewegung, mittelst des Passageninstruments, in die Richtung der Linie gebracht. Aufserdem bringt man durch Anwendung der Stellschraube B des Stabes II. seine horizontale Schneide so weit vor die senkrechte Schneide des Stabes I., dafs der Zwischenraum durch den Glaskeil gemefsen werden kann. Ebenso stellt man Nr. III. und IV. auf. Darauf werden die Luftblasen der Libellen eingestellt und an dem Mefsstabe Nr. I. abgelesen:

1. die Angabe der Schraube an der Libelle,

2. das Quecksilberthermometer,
3. der Werth am Glaskeil am Metallthermometer und
4. der Werth am Glaskeil zwischen den Schneiden der Stäbe Nr. I. und Nr. II.

An dem Stabe Nr. II. werden dieselben Ablesungen 1. bis 3., und Statt 4., der Werth am Glaskeil zwischen Nr. II. und Nr. III. gemacht.

Darauf stellt man den Mefsstab Nr. I. vor Nr. IV., macht die vorigen Ablesungen an Nr. III. und wiederholt auch die Ablesung am Glaskeil zwischen Nr. II. und Nr. III.

Auf diese Weise wird die Mefsung fortgesetzt und nur noch das anzuwendende Verfahren anzugeben sein, wodurch von Bessel *) der Punkt festgelegt wurde, bis zu welchem man am ersten Abend gelangte, um aus ihm am folgenden Morgen wieder zu beginnen.

An dem vorläufig bestimmten Punkte, an welchem man aufhören wollte, wurde ein starker Pfahl eingerammt, auf dessen Oberfläche, die mit der Erdoberfläche gleich war, eine Einrichtung mit 2 Schrauben befestigt war, durch welche eine, einen Punkt tragende Silberplatte nach zwei auf einander normal stehenden Richtungen längs der Pfahloberfläche bewegt werden konnte.

Wenn die Mefsung bis zu dem Pfahle vorgerückt war, so stellte man noch den folgenden, über ihn hinausgehenden Mefsstab auf und mafs mittelst des Glaskeils den Abstand seiner Schneide von der des vorangegangenen. Darauf brachte man durch Anwendung der erwähnten Schrauben den Punkt auf der Silberplatte genau unter die Spitze des von der horizontalen Schneide des Stabes herabhängenden und gegen den Luftzug gehörig geschützten Lothes. Am nächsten Morgen wurde dann der nämliche Mefsstab durch dasselbe Mittel in die am vorangegangenen Abend vorhandene Lage gebracht, so dafs nunmehr in der vorhin angegebenen Art weiter fortgefahren werden konnte. Selbstverständlich wurde während der Nacht der Pfahl mit der darauf befestigten Vorrichtung auf geeignete Weise geschützt.

War die letzte Mefsstange, vor der Ankunft an dem mit dem Anfangspunkte gleich bezeichneten Endpunkte der gegebenen Linie, aufgestellt, so wurde zur Bestimmung der Entfernung ihrer Schneide von dem Endpunkte ein gerader, etwa 4 Zoll starker hölzerner Stab, an dessen einer Kante eine gerade Linie gezogen war, so abgeschnitten, dafs sie den Zwischenraum zwischen der Mefsstange und dem Cylinder des Endpunktes fast ausfüllte und durch eine Setzwage in gleicher Höhe mit der Cylinderfläche horizontal gestellt. Dann wurde die Mefsstange nach Erfordernifs erhöht oder erniedrigt, bis die Schneide in der Ebene des Holzstabes war und dann mittelst eines genauen Fufsmafses von Eisen der erwähnte Abstand gemefsen.

---

*) A. a. O. S. 44.

§. 467.

Sind nun die Mefsstangenlängen in der Normaltemperatur des Originalmafses ausgedrückt; ist ferner aus der an der Trommel *G* (Fig. 231.) gemachten Ablesung der Neigungswinkel jeder einzelnen Stange gegen den Horizont bestimmt und nach §. 462. auf den Horizont reduciert, so ergiebt sich aus diesen, so wie aus den an den Endpunkten durch besondere Mefsstäbe noch ermittelten Längenstücken und den Glaskeildicken zwischen den Endpunkten der Mefsstäbe, die Länge der gemefsenen Linie. Hinsichtlich der wirklichen Ausführung aller dieser Bestimmungen ist aber der Leser auf die schon mehrfach citierte Gradmefsung etc. von Bessel und Baeyer, so wie auf die Küstenvermefsung und ihre Verbindung mit der Berliner Grundlinie von Baeyer, Berlin 1849, zu verweisen.

§. 468.

3. Die hölzernen Mefsstäbe.

Wegen der geringen Genauigkeit, welche die Anwendung der Mefskette bei der Mefsung der Linien gewährt, kann dieselbe selbst bei der Mefsung der Grundlinien eines trigonometrischen Dreiecksnetzes für eine gröfsere Fluraufnahme, z. B. bei der Aufnahme einer kleineren Provinz, oder einer gröfseren Feldmark, ausgedehnter Forsten u. s. w. nicht mehr angewandt werden. Man wendet dann zweckmäfsiger Mefsstangen von längere Zeit ausgetrocknetem Holz an, da seine Ausdehnung durch die Wärme nur unmerklich erfolgt und dasselbe vor den Einwirkungen der atmosphärischen Feuchtigkeit durch Auskochen in Oel und durch einen Ueberzug von Oelfirnifs hinreichend gesichert werden kann. Nach den bekannten Erfahrungen würde das Holz von Swietenia Mahagoni L. oder Sw. senegalensis Desrous, oder Populus dilatata Ait. dazu sich am meisten eignen; allein wegen der Schwierigkeit, lange Stangen davon zu erhalten, wird man auf das Holz von Pinus beschränkt sein, von welchen aber Pinus Picea L. wohl den Vorzug verdient.

Von einem hölzernen Mefsstangen-Apparat von mindestens 3 Stück, der nach eigenen Erfahrungen bei der Mefsung der Grundlinie einer gröfseren Fluraufnahme die erforderliche Genauigkeit (etwa $\frac{1}{6000}$) gewährt, zeigt Fig. 238. von dem einen Stabe eine Seitenansicht.

Der Stab *AB* hat eine Länge von einer Ruthe, einige Zoll Breite und 3/4 Zoll Dicke. In etwa 2 Fufs Entfernung von jedem Ende ist eine Metallplatte befestigt, an welche eine etwa 5 Zoll hohe Metallhülse *C*, *D* zur Aufnahme eines mit einem eisernen konischen Schuh und Querriegel versehenen cylindrischen Stabes *E*, *F* gelöthet ist. An diesen Stäben läfst sich die Mefsstange auf- und niederschieben und durch zwei, gegen Federn wirkende Druckschrauben (in der Figur nicht sichtbar) feststellen, sobald die Mefsstange eine horizontale Lage erhalten hat, welche an einer auf ihrer Mitte angebrachten Setzwage erkannt werden

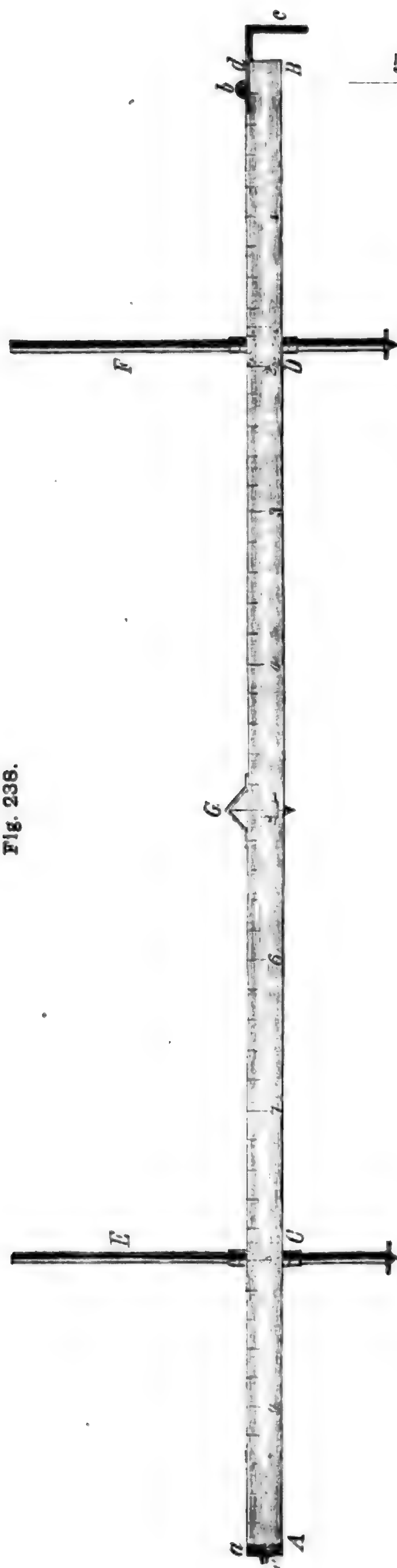


Fig. 238.

kann. Das aus ihrer Spitze herabhängende Loth mufs in diesem Falle mit dem einen Fufsstriche der nachher zu erwähnenden Eintheilung zusammenfallen. Das, in Bezug auf eine zu mefsende Linie, vordere Ende *A* der Mefsstange hat eine Metallkappe *a* mit einem darangelötheten Halbcylinder aus Stahl, dessen horizontalliegende Seite *α* zugleich den Endpunkt für die in Fufse, Zehntel- und Hundertstelfufse ausgeführte Eintheilung bildet. An dem hinteren Ende *B* läfst sich in einer aufgelegten Metallplatte mittelst eines Getriebekopfs *b* ein stählerner rechtwinklichter Arm *c* etwa 2 Zoll weit ausschieben und die Gröfse der Ausschiebung nach einer auf seiner Oberfläche bis auf Viertellinien (0,00025 Ruthen) ausgeführten Theilung, deren Index die scharfe Kante *d* der erwähnten Platte bildet, bestimmen. Der Arm läfst sich so weit einschieben, dafs seine äufsere verticale Kante *c* mit der Kante *d* zusammenfällt, so dafs *d* den Anfangspunkt der Eintheilung der Stange und *α∂* ihre Länge bezeichnet.

§. 469.

Vor dem Gebrauch der Mefsstangen zur Mefsung einer gegebenen Linie mufs aber die Länge *αd* jeder einzelnen Stange genau ausgemittelt werden. Diefs geschah nach einem messingenen Stabe, auf welchem zwei Hannov. Fufs abgetragen waren und der noch eine Eintheilung bis auf Hundertstel Linien hatte. Hiernach wurden die Längen der 3 Stäbe bestimmt.

Die Mefsung einer auf ebenem Grunde gegebenen Linie geschieht auf folgende Weise:

Nachdem der Anfang ihrer Richtung durch eine ausgespannte Mefsschnur von etwa 10 Ruthen Länge bezeichnet ist, werden die Stäbe *E* und *F* der Mefsstange No. I. dicht an die Schnur gesetzt, so dafs die Kante *d* noch etwas nach Vorn vom Anfangspunkte der Linie liegt. Letzterer ist durch ein auf die Oberfläche eines eingeschlagenen Pfahls eingeschnittenes Kreuz bezeichnet. Darauf wird die Mefsstange in etwa 2 Fufs Abstand vom Boden in eine horizontale Lage gebracht und durch Eindrücken der Stäbe in den Boden gehörig festgestellt. Dann schiebt man den Arm *c* so weit vor, bis das an seiner Endfläche herabhängende Loth, das aus einer feinen Metallsaite und einem in eine konische Spitze endigenden Konus besteht, den Kreuzpunkt des Pflockes trifft. Man notiert nun die Länge des ausgezogenen Arms in dem Manual. Darauf stellt man auch die Stangen II. und III. wie I. auf, so dafs der zuerst eingeschraubte Arm *c* des hinteren Endes fast vor dem Cylinder *a* der vorangehenden Stange steht, schiebt denselben bis zur Berührung aus und notiert wieder die Länge jedes Auszuges. Auf diese Weise setzt man die Mefsung fort.

Sollten sich an einzelnen Stellen des Terrains solche Unebenheiten finden, dafs der Arm mit dem Endcylinder, nach möglichster Erhöhung oder Erniedrigung der einen oder anderen Stange, nicht mehr zur Berührung gebracht werden kann, so nimmt man die erwähnten Lothe zu Hülfe.

Ist man beim Endpunkte der Linie angelangt, so läfst man von einem Punkte der Stange ein Loth bis zum Kreuzpunkte des Pfahls herab und bestimmt durch Anwendung eines angelegten Mafsstabes die Entfernung dieses Punktes von dem Anfangspunkte der Latte. Aus dieser letzteren Gröfse, den bekannten Längen jeder einzelnen Stange und den bestimmten Auszügen der Arme ergiebt sich die Länge der Linie, die von dem aus einer zweiten Mefsung erhaltenen Resultate um höchstens $\frac{1}{5000}$ bis $\frac{1}{6000}$ der ganzen Länge abweichen darf, wenn das arithmetische Mittel aus beiden die Länge der Linie angeben soll.

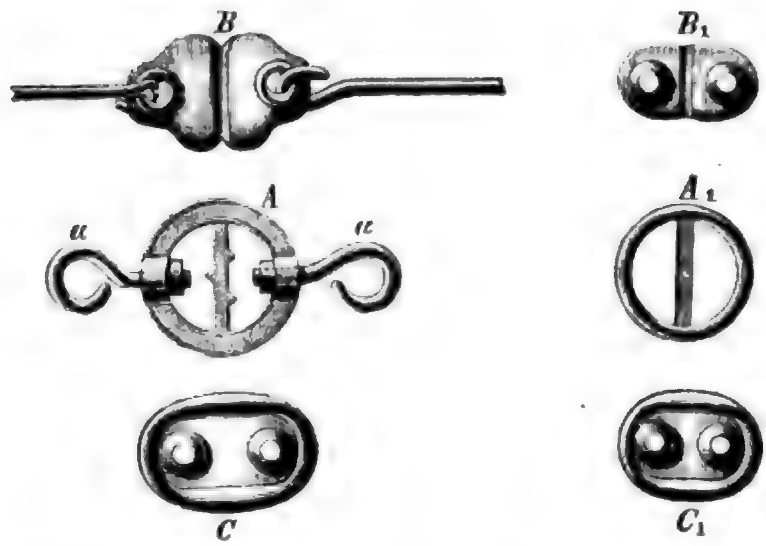
B. Längenmefsapparate für Detail- oder kleinere Mefsungen.

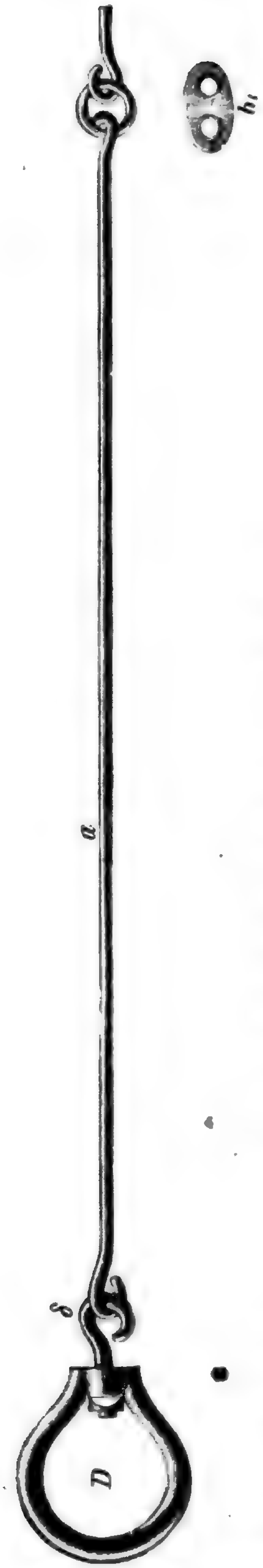
§. 470.

1. Die Mefskette.

Die Mefskette besteht aus einzelnen Gliedern *a* (Fig. 239.) eines weichen Eisendrahts von $1\frac{1}{2}$ bis $1\frac{3}{4}$ Linien Dicke, die an den Enden hakenförmig umgebogen und durch Metallringe (von Eisen oder Messing) *b* so mit einander verbunden sind, dafs die Entfernung zwischen der Mitte zweier auf einander folgender Ringe dem Zehntel einer Ruthe (einem Decimalfufs) gleich ist. Die Ruthen und halben Ruthen sind durch gröfsere Ringe $A_1 A_1$ oder durch gröfsere, mit Löchern versehene ellipsenförmige oder anders geformte Platten B, B_1, C, C_1 bezeichnet. Zur Aufnahme der Glieder finden sich an den Ruthenringen noch Wirbel $\alpha\alpha$, die durch Muttern gehalten werden, auch wohl noch ein Querriegel, an welchem

Fig. 239.





durch dreieckige Ansätze die Zahl der Ruthen bemerklich gemacht ist. An jedem Ende der Mefskette findet sich ein gröfserer, ebenfalls mit einem Wirbel δ versehener Ring *D*, welcher den Kettenstab aufnimmt.

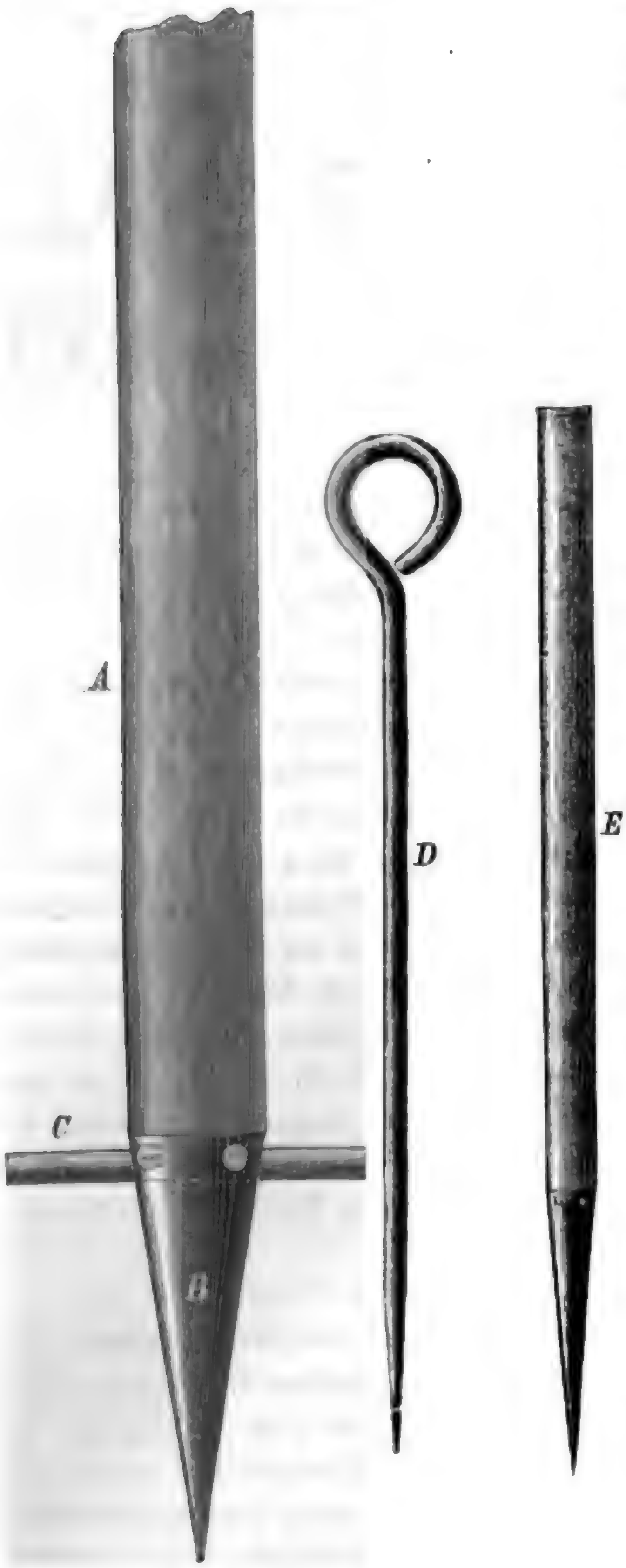
Damit die nach längerem Gebrauch durch das Ausschleifen der Ringe etwa entstandene Aenderung in der Länge der Kette, bei den verschiedenen Lagen ihrer Glieder oder bei den verschiedenen Kettenzügen sich nicht weiter ändert, nämlich die Glieder gezwungen werden, immer dieselbe Stelle der Ringe mit ihren Haken zu berühren, hat man, obgleich der Gebrauch der Kette dadurch unbequemer wird, die Ringe A_1 für die halben Ruthen, besonders aber die Ringe *b* für die Zehntelruthen durch ellipsenförmige Platten von Messing B_1, C_1, b_1, die in der Richtung der grofsen Achse zwei Löcher zur Aufnahme der Haken enthalten, zweckmäfsig ersetzt.

Die gewöhnliche Länge der Mefskette ist 5 Ruthen.

§. 471.

Um die Mefskette in der zu mefsenden Richtung auszuspannen, werden durch die Endringe *D* (Fig. 239.), ihrem inneren Durchmefser entsprechend, 5 bis $5\frac{1}{2}$ Fufs hohe cylindrische Stäbe *A* (Fig. 240.) von Tannen- oder von Eschenholz, deren unteres Ende mit einem konisch zulaufenden eisernen Schuh *B* und einem Querriegel *C* zum Auflegen des Ringes und zum Auftreten versehen ist, gesteckt. Man nennt diese Stäbe Kettenstäbe.

Fig. 240.



Zum Bezeichnen der Endpunkte der Kettenzüge dienen 10 Markierstäbchen (Kettennägel) von Eisen, *D*, oder von Holz, *E*, die an eisernen Haken oder in ledernen Köchern, an Tragriemen aufbewahrt werden.

Die in Figg. 239. u. 240. dargestellten Theile der Mefskette sind im Drittel der wahren Gröfse dargestellt.

§. 472.

2. Die Ruthenschnur.

Diese Mefsschnur unterscheidet sich von der Mefskette besonders dadurch, dafs die einzelnen, durch Ringe mit einander verbundenen Glieder aus zwei- oder dreifachem, dünnen Messingdrath zusammengedreht und deren halbe und ganze Ruthen durch gröfsere mit Wirbeln versehene Ringe bezeichnet sind. An den Enden enthält sie ebenfalls solche gröfsere Ringe mit Wirbeln zur Aufnahme zweier Stäbe. Ihrer gröfseren Leichtigkeit wegen gewährt sie auf sehr unebenem Boden und bei der Mefsung von Linien an steilen Bergabhängen oder auf einem Boden mit vielem Gestrüpp vor der Mefskette einen Vortheil, da sie viel bequemer zu einer horizontalen Linie sich ausspannen läfst.

§. 473.

3. Die Lachterschnur (Lachterkette).

Sie wird nur bei den markscheiderischen Arbeiten in den Bergwerken angewandt und hat meistens eine Länge von 6 bis $6\frac{1}{2}$ Lachter *). Sie besteht, ähnlich der Mefsschnur, aus zweidräthigen Gliedern eines feinen Messingdraths, die entweder in Längen von $\frac{1}{8}$ oder meistens von $\frac{1}{4}$ Lachter durch kleinere oder gröfsere Ringe und durch Wirbel mit einander verbunden sind. An den Verbindungsstellen sind die Glieder in der Länge von etwa einem Zoll zu einem Schlofs, d. h. vierdrähtig zusammengedreht. An jedem Ende des Lachters findet sich ein gröfserer Ring mit einem kleinen Blech, auf welchem durch kleine Löcher die Anzahl der Lachter bemerklich gemacht ist.

Am Anfange hat die Schnur einen messingenen Haken zum Anhängen an die in das Holzwerk gebohrten Pfriemen.

In Fig. 241. bezeichnet *a* den Haken der Schnur; *b* den bei $\frac{2}{8}$ oder $\frac{6}{8}$ Lachter Länge sich befindenden s. g. Wirbel; *c* den Ring für $\frac{1}{2}$ Lachter, oder bei der Eintheilung in Achtellachter, für $\frac{1}{8}$, $\frac{3}{8}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{5}{8}$ und $\frac{7}{8}$ Lachter Länge, in welchem Falle der bei $\frac{1}{2}$ Lachter Länge angebrachte Ring von dem anderen noch durch geringere Gröfse bezeichnet ist; *d* den Ring für die einzelnen Lachter und *ee* das Schlofs der Glieder. Bei 5 Lachter Länge trägt die Schnur einen noch gröfseren Ring.

Fig. 242. stellt die um die Achse *ab* drehbare Rolle vor; auf welche die Schnur bei ihrem Transport gewickelt wird und deren Einrichtung aus der Figur leicht entnommen werden kann.

Nachdem der feine Messingdraht, dreifach zusammengelegt, auf einer kleinen Kurbel so lange gedreht ist, bis die einzelnen Theile fast bis zu einem dünnen Cylinder sich vereinigt haben, wird er durch wiederholtes Reiben mit einem wollenen Lappen bis zum Zerreifsen wiederholt ausgedehnt, um ihm die zur Anwendung nöthige Eigenschaft zu geben. Zur Anfertigung des Schlofses an den Enden der Glieder wendet man eine im Innern der Backen gereifte Flachzange an.

Die Pfriemen, welche bei der Anwendung des Gradbogens und Compasses zum Bezeichnen der Endpunkte der zu mefsenden Linie dienen, bestehen aus einem von Messing verfertigten, 3 bis 4 Zoll langen, spitz zulaufenden und in einem Handgriff *a* befestigten Konus *b*. Fig. 243. stellt einen derselben im Drittel wahrer Gröfse dar. Zuweilen läuft das untere Ende des Konus in eine Holzschraube aus und wird dann der Hülfsapparat, wohl die Markscheiderschraube genannt.

---

*) Das Harzer Lachter hält 80 Braunschweiger oder 78,082 Hannoversche Zoll.

Fig. 241.



Fig. 242.

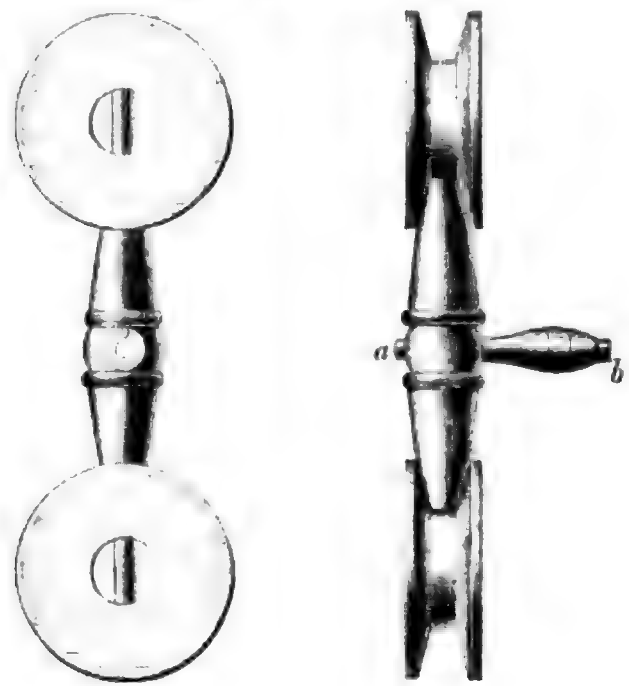


Fig. 243.



Die Prüfung und Berichtigung der Mefskette und Lachterschnur.

§. 474.

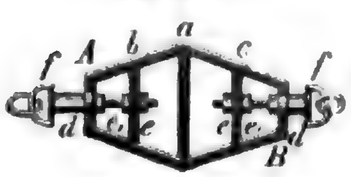
Beim längeren Gebrauch der Mefskette wird durch das Verbiegen oder das Ausdehnen der Haken, durch das Ausschleifen der Ringe und Wirbel und durch das Verbiegen der Glieder ihre Länge sich theils verkürzen, theils verlängern, weshalb sie vor dem jedesmaligen Gebrauch zu prüfen und nöthigenfalls zu berichtigen ist.

Zu diesem Zwecke mifst man auf einem sorgfältig planierten Boden mittelst einer Mefsschnur eine Länge von etwas über 5 Ruthen ab, schlägt in den Anfangspunkt und durch Anlegung eines Ruthenstabes in Entfernungen von 1 Ruthe starke Pfähle mit quadratischer Oberfläche und bemerkt auf letzteren durch genaue Verschiebung einer vollkommen richtigen, nach Zehntelruthen eingetheilten Normalruthe die Endpunkte der Ruthen durch scharfe Einschnitte oder durch Markierung auf Blechen, die auf den Pfählen befestigt sind. Vor den Einflüfsen der Witterung sind die Pfähle durch übergelegte Stülpen oder Dächer von Holz zu sichern.

Nachdem nun alle Haken und Glieder der Mefskette sorgfältig gerade gebogen sind und die Kette ganz ausgespannt ist, untersucht man zunächst, ob die Länge jeder Ruthe mit den auf den Pfählen befindlichen Marken genau übereinstimmt und somit auch die Länge der Mefskette richtig ist. Die Länge der Zehntelruthen prüft man nach der Eintheilung auf der Normalruthe. Geringe Unrichtigkeiten werden durch Biegen der Haken, gröfsere durch Einsetzen neuer Glieder ausgeglichen.

Zu der Berichtigung der einzelnen Ruthenlängen dient die in Fig. 244. dargestellte, von **Berlin** *) angegebene Construction der **Ruthenwirbel**. Aufser dem mittleren Querriegel a enthält der sechseckige, metallene Rahmen AB noch einen Querriegel b, c auf jeder Seite des ersteren. Durch die Endstücke A, B, welche sich in ihrer Mitte zu einer Scheibe ausdehnen, geht ein vierkantiger verschiebbarer Bolzen d, d, der in Schraubengewinde ausläuft und durch die Muttern e, e und Gegenmuttern e_1, e_1 in A und B verstellbar ist. In den in dem Wirbelringe f, f eingehängten Ring treten die Haken der Glieder. Durch diese Einrichtung kann zwar den einzelnen Ruthen auf eine bequeme Weise die richtige Länge ertheilt werden, indessen ist doch nicht zu läugnen, dafs durch die Möglichkeit des Lösens der Muttern oder Gegenmuttern die Mefskette leichter einer Wandelbarkeit unterworfen ist.

Fig. 244.



Bei einigen Mefsketten ist eine Berichtigung nur an einem der Endglieder, also eine solche nur an der ganzen Länge gestattet.

*) Grunert's Archiv der Mathematik und Physik. IV. Greifswald 1844.

Verschieden von der Berlin'schen Correctionsvorrichtung ist die von Ertel angewandte, welche in Bauernfeind's Vermefsungskunde 2. Aufl. S. 270. dargestellt ist. Das Correctionsglied besteht nämlich aus zwei Theilen, von denen der eine zwei feste Ansätze enthält, der andere aber in ein Schraubengewinde ausläuft, dessen Mutter im Endansatze sich befindet, während der andere nur die Durchbohrung für das Glied enthält. Durch eine vorgesetzte Gegenmutter kann letzteres dann gehörig festgestellt werden.

§. 475.

Die Prüfung der Lachterschnur nimmt man nach einem in Achtel- oder Viertellachter getheilten Normallachterstabe vor. Bei dieser Untersuchung ist indessen zu berücksichtigen, dafs der Anfangspunkt des Lachters an der inneren Fläche α des Hakens *a* (Fig. 241.) beginnt und der Endpunkt des Viertellachters an der inneren Fläche β (durch die punktierten Linien bezeichnet) des Wirbels *b* gedacht werden mufs, hiernach also der etwa gefundene Fehler, der meistens in der Verlängerung der Schnur besteht, durch Veränderung der Gliedlänge zu verbefsern sein wird, wozu bei nur geringen Unterschieden meistens ein stärkeres Zusammendrehen der beiden Schlöfser des Gliedes ausreicht. Ebenso sind bei den Ringen der Lachter oder halben Lachter die inneren Flächen γ, δ (ebenfalls durch die punktierten Linien bezeichnet) als die Endpunkte der erwähnten Längen zu betrachten.

Auf dieselbe Weise wird die Prüfung und Berichtigung der im §. 472. erwähnten Ruthenschnur nach einem Normalruthenstabe vorgenommen.

Unmittelbare Mefsung einer Linie mittelst der Mefskette.

§. 476.

Nachdem die Mefskette sorgfältig aus einander geschlagen ist und die Kettenstäbe in ihre Endringe gesteckt sind, setzt der hintere Kettenzieher seinen Kettenstab in den Anfangspunkt der gegebenen Linie und richtet den Stab des vorderen Kettenziehers in die Richtung derselben ein, während letzterer zugleich, ohne die Richtung zu verändern, die Kette straff genug so anzieht, dafs ihre Glieder möglichst eine Gerade bilden. Bevor darauf beide Kettenzieher in der Richtung der gegebenen Linie weiter gehen, bezeichnet der vordere, durch Einstecken eines Markierstäbchens in das von dem zugehörigen Kettenstabe gebildete Loch, den Endpunkt des ersten Kettenzuges. Auf dieselbe Weise wird jeder folgende Kettenzug ausgeführt. Ist die Linie länger als 50 Ruthen, so werden nach Abmefsung dieser Länge die von dem hinteren Kettenzieher aufbewahrten 10 Markierstäbchen dem Vordermann übergeben und die noch folgenden Kettenzüge nach demselben Verfahren bestimmt. Schliefslich wird das zwischen dem Anfangspunkte des letzten Zuges und dem Endpunkte der gegebenen Linie liegende Stück an den Ruthen- und Zehntelruthen-Ringen abgezählt und die etwaigen Hundertstelruthen nach

einem in Hundertstelruthen eingetheilten Halbruthenstabe bestimmt. Bezeichnet dann a diese Länge, ist ferner die Zahl der von dem hinteren Kettenzieher aufbewahrten Markierstäbchen $= n$ und die Zahl der Wechsel der 10 Markierstäbchen $= m$, so ist die Länge der Linie

$$b = (m \,.\, 10 + n)\, 5 + a.$$

§. 477.

Kann die nach dem vorigen Paragraph gemefsene Linie als in einer Horizontalebene liegend angesehen werden, so bezeichnet der Ausdruck für b die Länge derselben. Liegt sie aber in einer Ebene, welche unter dem Winkel α gegen den Horizont geneigt ist, so ist die auf den Horizont reducierte Länge

$$\beta = b \cos \alpha.$$

Die Zuverläfsigkeit der Kettenmefsung.

§. 478.

Bei jeder Mefsung einer geraden Linie mittelst der Mefskette von nicht zu geringer Ausdehnung wird man Fehler begehen, deren Gröfse zu bestimmen ist, um sie bei dem gefundenen Resultate, wenn auch nicht in Rechnung zu bringen, doch aber ihren Einflufs kennen zu lernen, da von einer Eliminierung derselben, wie sie bei der Mefsung der Winkel mittelst eines Winkelmefsers, durch verschiedene Methoden der Winkelmefsung, möglich war, hier keine Rede sein kann. Selbstverständlich sind aber nur die s. g. zufälligen Fehlerquellen hier zu beachten, alle übrigen aber auszuschliefsen, wohin z. B. gehören, dafs Glieder verbogen oder ihre Ringe überschlagen sind, die Kette nicht in der erforderlichen Straffheit angezogen ist, der Stab des hinteren Kettenziehers, durch zu starkes Anziehen der Kette von dem vorderen schief gezogen wird, auf unebenem Boden die Endringe der Kette an den Kettenstäben eine zu hohe oder zu niedrige Lage haben, so dafs die benachbarten Glieder eine Lage annehmen, die von der der anderen abweichend ist u. s. w. Zu den erwähnten zufälligen Fehlern gehören insbesondere folgende:

1. Die Endpunkte der einzelnen Kettenzüge liegen nicht genau in der Richtung der zu mefsenden Linie.

Ist in Fig. 245. AB die zu mefsende gerade Linie, $ACDE \ldots FB$ aber die durch die Kettenzüge gemefsene, nach Links und Rechts abweichende, gebrochene Linie, so ist, wenn die Länge der Kette $AC = CD = DE \ldots FB$ durch a, die Gröfse der hier vorausgesetzten, überall gleichen Abweichung Cc, Dd, $Ee \ldots$ von

Fig. 245.



der Geraden AB durch d und die Zahl der Kettenzüge durch n bezeichnet wird,

$$AB = 2\sqrt{a^2 - d^2} + (n-2)\sqrt{a^2 - 4d^2},$$
$$= 2a\sqrt{1 - \frac{d^2}{a^2}} + (n-2)a\sqrt{1 - \frac{4d^2}{a^2}}.$$

Löst man die beiden Wurzelgröfsen in eine Reihe auf, so erhält man

$$\sqrt{1 - \frac{d^2}{a^2}} = 1 - \tfrac{1}{2}\frac{d^2}{a^2} - \tfrac{1}{8}\frac{d^4}{a^4} - \ldots,$$
$$\sqrt{1 - \frac{4d^2}{a^2}} = 1 - 2\frac{d^2}{a^2} - \tfrac{1}{2}\frac{d^4}{a^4} - \ldots;$$

folglich ist, da man die dritten Glieder wegen der Kleinheit von d gegen a vernachläfsigen kann,

$$AB = 2a\left(1 - \tfrac{1}{2}\frac{d^2}{a^2}\right) + (n-2)a\left(1 - \frac{2d^2}{a^2}\right),$$
$$= na - \frac{d^2}{a}(2n-3),$$

also der begangene subtractive Fehler

$$f = \frac{d^2}{a}(2n-3),$$

so dafs demnach der Fehler nach dem Quadrat der Abweichung und der Zahl der Kettenzüge wächst.

Setzt man also bei der 5 ruthigen Kette $d = 0^0{,}02$, $n = 20$, so ist $f = \frac{(0{,}02)^2}{5} \cdot 37 = 0^0{,}00296$, so dafs daher der Einflufs des erwähnten Fehlers im Ganzen unbedeutend genannt werden kann.

2. **Für die auf einem unebenen Boden möglichst ausgespannte Kette, deren Mitte sich um die Gröfse e senkt, wird Statt des Bogens seine Sehne als Kettenlänge genommen.**

Bezeichnet in Fig. 246. der Bogen AEB die Lage der in A und B gespannten Mefskette, so ist der hier begangene Fehler f_1 dem Unterschiede zwischen der Länge der Sehne s und dem Bogen b gleich, oder $f_1 = b - s$. Setzt man den Halbmefser des Bogens $= r$ und den zugehörigen Winkel ACB im Bogenmafs $= \varphi$, so ist $b = r\varphi$ und $s = 2r \sin\frac{1}{2}\varphi$. Da nun

$$\sin\tfrac{1}{2}\varphi = \tfrac{1}{2}\varphi - \tfrac{1}{48}\varphi^3 \ldots,$$

so ist durch Substitution von $\varphi = \frac{b}{r}$

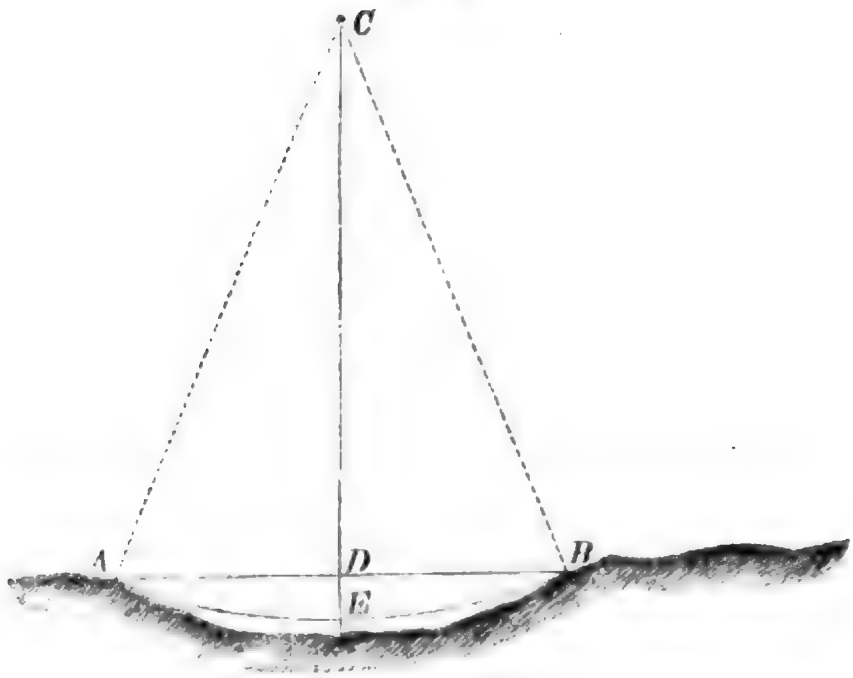
$$\sin\tfrac{1}{2}\varphi = \frac{b}{2r} - \frac{b^3}{48r^3},$$

folglich
$$s = b - \frac{b^3}{24r^2}$$

und daher
$$f_1 = \frac{b_3}{24r^2},$$

so dafs es daher noch darauf ankommt, r durch e auszudrücken. Da nun

Fig. 246.



$$e = r - r \cos \tfrac{1}{2}\varphi = r(1 - \cos \tfrac{1}{2}\varphi)$$

und
$$\cos \tfrac{1}{2}\varphi = 1 - \tfrac{1}{8}\varphi^2$$

oder nach Substitution von $\varphi = \frac{b}{r}$

$$\cos \tfrac{1}{2}\varphi = 1 - \frac{b^2}{8\,r^2},$$

folglich
$$e = \frac{b^2}{8\,r} \text{ oder } r = \frac{b^2}{8\,e}.$$

Mithin ist
$$f_1 = \frac{b^3}{24\,\frac{b^4}{64\,e^2}} = \frac{8\,e^2}{3\,b},$$

so dafs mithin der Fehler nach dem Quadrat der Ketteneinsenkung wächst, mit der Kettenlänge aber sich vermindert.

3. Wird die Länge einer Linie auf einer gegen den Horizont unter dem Winkel α geneigten schiefen Ebene, die aber als Horizontebene angesehen wird, gemefsen, so ist nach §. 477. Statt b nur $b \cos \alpha$ zu nehmen, so dafs also auch in diesem Falle, wie in den vorhergehenden Fällen der begangene Fehler ebenfalls subtractiv ist.

4. In demselben Sinne, wie die erwähnten drei Fehler, wirken auch die unter 1. schon angedeuteten, so dafs bei der Mefsung der Linien mittelst der Mefskette im Allgemeinen eine gegenseitige Aufhebung derselben nicht Statt finden kann und daher in diesen Umständen auch der alleinige Grund zu suchen ist, dafs die Mefskette nicht den Grad der Zuverläfsigkeit gewähren kann, den ihr hin und wieder noch einige Praktiker beilegen. Keineswegs ist man aber bis jetzt über den Grad oder das Mafs der Genauigkeit der Mefskette bei Längenbestim-

mungen vollständig im Reinen. Zu diesem Zwecke würden mit derselben Längen, wie sie in der Praxis häufig vorkommen, von 20 bis 100 Ruthen, durch eine grofse Anzahl von Mefsungen zu bestimmen sein, um aus dem daraus sich ergebenden arithmetischen Mittel den s. g. mittleren Fehler für jede einzelne dieser Längen berechnen zu können, wozu die Ausgleichungslehre nach der Methode der kleinsten Quadrate Anleitung giebt. Die Fehlerprocente, die in den Instructionen für Geometer bei den Mefskettenmefsungen zu gut gethan werden sollen, möchten wohl in den wenigsten Staaten gehörig begründet sein, und beruhen meistens nur auf der Voraussetzung, dafs der mittlere Fehler der Länge der Linie proportional ist.

Mefsung der Linien mittelst der Lachterschnur.

§. 479

Die Mefsung der Linien mittelst der Lachterschnur durch ein analoges Verfahren, wie es auf der Oberfläche der Erde mittelst der Mefskette ausgeführt wird, findet bei den Arbeiten des Markscheiders nur eine geringe Anwendung und kommt ausnahmsweise nur bei der Längenbestimmung der Stollen, Feldörter und Querschläge vor, wenn diese in gerader Linie fortlaufen. Sie läfst sich aber auch nur dann mit einiger Zuverläfsigkeit ausführen, wenn auf den erwähnten Bauen die Sohle mit Laufbohlen oder anderem Tretwerk versehen ist. Zur Bezeichnung der Endpunkte jeder einzelnen Schnurlänge dienen die im §. 473. erwähnten Pfriemen, welche in etwas schiefer Richtung in dem Holzwerk so befestigt werden, dafs die angehängte Schnur nicht abgleitet. Im Vergleich mit dem Mefsen mit der Mefskette findet hier nur der Unterschied Statt, dafs nicht die Achse des Pfriemens, sondern ihre eine Seite den Anfangs- und Endpunkt der Linie bezeichnet, weshalb bei jedem folgenden Zuge der den Endpunkt der Schnur bezeichnende Pfriemen um seine Dicke so weit nach Vorn versteckt werden mufs, dafs sein Anfangspunkt mit dem Endpunkte des vorangegangenen Zuges übereinstimmt. Zum Einrichten der einzelnen Schnurzüge in die gerade Linie dient die Lichtflamme des Gruben- oder Markscheiderlichts.

In den Fällen, wo das Streichen und Fallen der Schnüre mit dem Hängecompass und dem Gradbogen bestimmt wird, die Pfriemen daher meistens in dem Gezimmer der Stollen, Strecken und Schächte oder auf festgeschlagenen Spreizen befestigt werden, ist noch die richtige, gleiche Spannung der Schnur zu beachten, welches meistens durch ein durch längere Uebung erworbenes Gefühl mittelst des Drucks und der Bewegung einiger Finger der Hand geschieht.

Bei der Anwendung des Markscheidergoniometers (§. 253.) wurden vom Erfinder desselben die Längen der Schnüre, welche erst nach der Bestimmung der Winkel befestigt wurden, mit einem Mefsbande von Schumann gemefsen, mit welchem eine viel gröfsere Genauigkeit erzielt werden soll, als mit der Fünflachterschnur. In den meisten Fällen betrug die Länge der Schnur weniger als

10 Lachter. Bei gröfseren Entfernungen wurden Zwischenpunkte gewählt, welche auf festgeschlagenen Spreizen durch Pfriemen markiert wurden und mit Hülfe des Winkelmefsers schon so bestimmt waren, dafs dieselben mit den benachbarten Stationspunkten in derselben Verticalebene lagen. Die Neigung der nicht söhligen Schnüre wurde auf bekannte Weise mit einem Gradbogen bestimmt, wodurch sich dann leicht der Horizontalabstand berechnen liefs.

Ein ähnliches Verfahren wird bei der Anwendung eines Grubentheodoliths angewandt.

Die Unterabtheilungen des Lachters werden mittelst eines in Linien eingetheilten Achtel- oder Viertellachterstockes bestimmt.

§. 480.

4. Das Mefsband.

Das **Mefsband** ist ein etwa $^3/_4$ Zoll breites leinenes Band, welches längere Zeit in Leinölfirnifs gelegen und darauf in Wachs gesotten ist, um es der Einwirkung der Feuchtigkeit möglichst zu entziehen. Es ist meistens seiner Länge nach in Fufse und Zolle nach dem Duodecimalmafs eingetheilt, da man sich desselben fast nur bei der Mefsung von Baulichkeiten bedient, kann aber auch jede andere Eintheilung enthalten.

In Fig. 247. ist ein Mefsband nebst Kapsel zum Auf- und Abwickeln im Drittel natürlicher Gröfse dargestellt. Die Trommel *c* nimmt auf einem im Innern

Fig. 247.

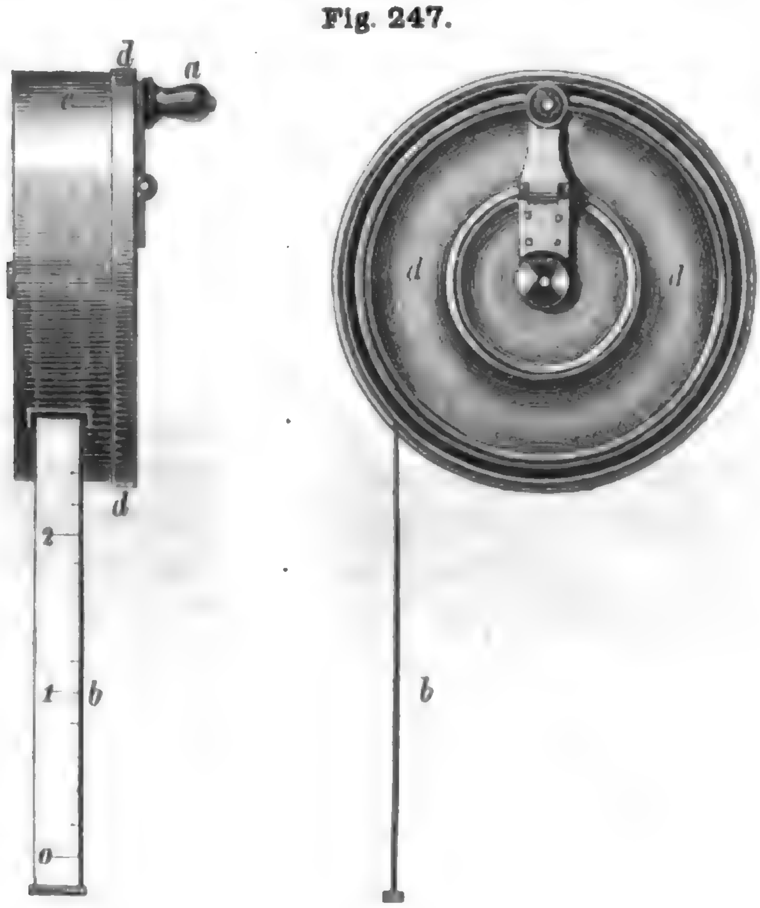
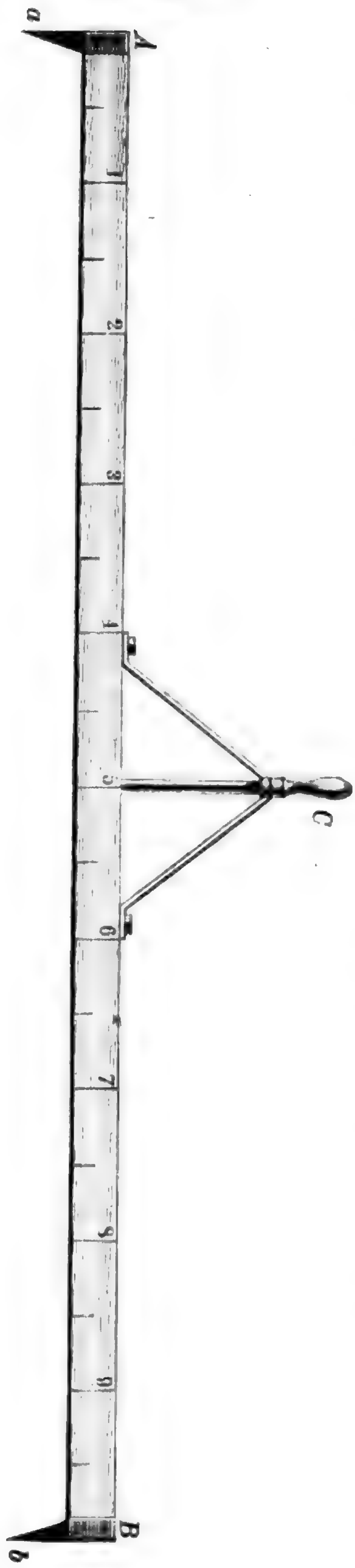


Fig. 248.



drehbaren Cylinder das Band *b* auf, indem mittelst der an der Scheibe *d d* befindlichen Kurbel *a* die Scheibe und der daran befestigte Cylinder in drehende Bewegung versetzt wird, wodurch das Band sich aufwickelt.

Eine ähnliche Einrichtung hat die Meſsschnur, eine 5 bis 10 Ruthen lange und etwa 1 bis 2 Linien dicke Schnur von Hanf, ebenfalls in Oel und Wachs gesotten. Sie wird zweckmäſsig zum Kenntlichmachen der Richtungen gerader Linien, deren Länge durch hölzerne Meſsstäbe (§. 468.) bestimmt werden soll, angewandt.

§. 481.

5. Der Feldzirkel.

Der in Fig. 248. dargestellte Feldzirkel bildet eine in Zehntel- und Hundertstelruthen eingetheilte Latte *A B* von der Länge einer Ruthe, an deren Enden zwei eiserne Spitzen *a*, *b* in normaler Richtung gegen die Latte befestigt sind und mittelst des in ihrer Mitte angebrachten Handgriffs *C* auf dem Felde in derselben Art gebraucht wird, wie der Handzirkel beim Abmeſsen der Längen auf dem Papiere. Er wird meistens nur zum Meſsen der Ordinaten der krummlinichten Begrenzungen oder Baulichkeiten angewandt, wozu aber in vielen Fällen nur ein eine halbe Ruthe langer Meſsstab mit derselben Eintheilung (der Ueberschläger) dient, welcher flach auf den Boden gelegt wird. Hin und wieder wird der Feldzirkel auch Statt der Meſskette zur Bestimmung der Längen der Linien bei flüchtigen Aufnahmen benutzt, wenn man sich mit der geringen Genauigkeit von etwa 1 : 500 begnügen darf.

C. Die Distanzmefser.

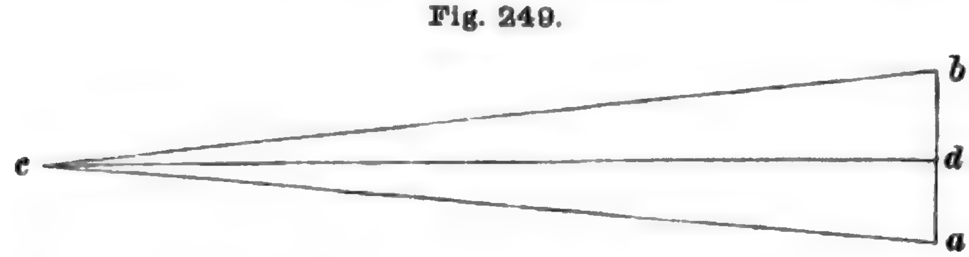
§. 482.

Unter Distanzmefsern versteht man im Allgemeinen die Mefsinstrumente, mittelst welcher die Entfernung zweier Punkte, ohne Anlegung eines natürlichen Mafsstabes, von einander unmittelbar dadurch zu bestimmen ist, dafs, wenn der Apparat in dem einen Endpunkte aufgestellt und damit auf den anderen gerichtet wird, die Entfernung entweder sogleich erkannt oder durch einfache Rechnung ermittelt werden kann. Für einen besonderen Fall ist die Möglichkeit der Distanzmefsung in dem angegebenen Sinne schon im §. 303. angegeben; es mag aber jetzt noch bemerkt werden, dafs sie im Allgemeinen darauf beruht, die zu mefsende Linie noch mit zwei anderen zu einem gleichschenklichten oder rechtwinklichten Dreieke zu verbinden, worin in dem ersteren der Winkel an der Spitze oder an der Basis, oder in dem anderen der eine der schiefen Winkel entweder dargestellt wird oder als constant gegeben ist, um durch ihn aus der bekannten Basis des gleichschenklichten oder der kürzeren Kathete des rechtwinklichten Dreiecks, als Standlinie, auf die Länge des Höhenperpendikels oder der längeren Kathete beziehungsweise zu schliefsen.

Bei einzelnen Distanzmefsern dient der im Endpunkte der zu bestimmenden Linie befindliche natürliche Gegenstand selbt zum Einrichten oder Einvisieren; bei anderen mufs ihm noch eine schon im §. 306 erwähnte Distanzlatte, die entweder ihrer ganzen Länge nach eine auf den Distanzmefser bezogene Eintheilung enthält, oder auf welcher zwei ebenfalls auf den Distanzmefser bezogene fixe Punkte markiert sind, hinzugefügt werden. Obgleich es nicht an Versuchen gefehlt hat, Werkzeuge zu ersinnen, durch welche die Distanz zwischen zwei gegebenen Punkten ohne Zuziehung einer Distanzlatte bestimmt werden soll, so ist es doch bis jetzt nicht gelungen, sie so zu construieren, dafs sie die gesuchte Distanz mit derselben Genauigkeit geben, welche die mit Distanzlatten versehenen Distanzmefser gestatten.

Bezeichnet in Fig. 249. *a b c* das erwähnte gleichschenklichte Dreieck, so ist bei den mit Fernröhren versehenen Distanzmefsern, welche eigentlich allein

Fig. 249.



auf diesen Namen Anspruch machen können, der Standpunkt des Instruments in der Spitze *c* desselben; wird dabei nun der daselbst gebildete Winkel als constant

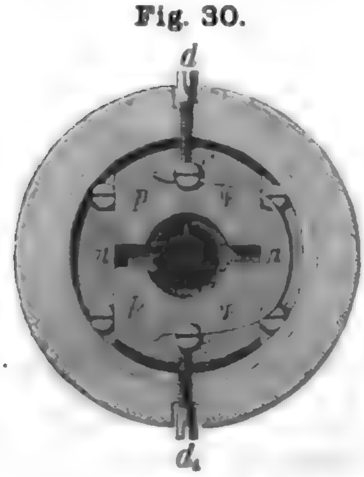
angenommen, so wird mit $a\,d$ (oder $b\,d$) sich auch $c\,d$ ändern, wenn dagegen $a\,d$ constant bleibt, so wird $c\,d$ mit dem Winkel c sich ändern. Hierauf beruhen sowohl die schon unter VI. (§§. 303. u. f.) beschriebenen distanzmefsenden Fernröhre der Kippregel des Mefstisches, als auch die hier noch zu erwähnenden Distanzmefser, so wie der Diastimeter von Romershausen.

Wird in dem rechtwinklichten Dreieck $a\,c\,d$ der Standpunkt in d genommen, und sieht man die kürzere Kathete $a\,d$ als constant an, so beruht darauf sowohl das von Pacceco ab Ucedos erfundene Pantometrum, als auch der von Netto*) unter dem Namen des Branderschen Distanzmefsers erwähnte Apparat.

Bei dem Pantometrum von Pacceco haben zwei Fernröhre einen constanten Abstand von 4 oder 5 Fufs. Nachdem sie beide auf einen sehr entfernten Gegenstand gerichtet, also parallel gestellt sind, gestattet das eine eine Drehung nach einem gegebenen Object und die Mefsung dieses Drehungswinkels a, woraus dann $d\,c$ sich ergiebt. Der Brander'sche Distanzmefser hat ebenfalls eine 5 Fufs lange Standlinie, um welche Länge zwei vor den Objectiven zweier Fernröhre befindliche und unter 45 Grad gegen einander geneigte Metallspiegel von einander abstehen. Bei dem Distanzmefser von Meyer **) wird der Winkel a als constant angenommen und aus diesem, so wie aus der durch Abschreiten bestimmten Kathete $a\,d$ die Länge $c\,d$ ermittelt.

§. 483.

Fig. 30.



Aufser den in den §§. 303. bis 307. beschriebenen Distanzmefsern mit festen und verstellbaren Fäden, von welchen Fig. 30. die Einrichtung mit verstellbaren Fäden im Verticaldurchschnitt darstellt, mag hier zunächst noch der in der Anmerkung zu §. 309. nur angedeutete

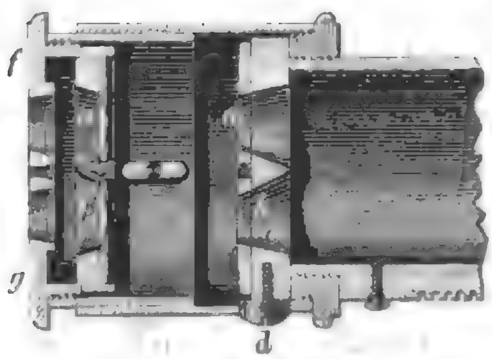
Reichenbach'sche Distanzmefser

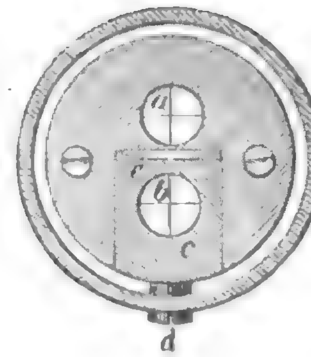
seine Stelle finden, von welchem in Fig. 250. ein Längendurchschnitt des Vordertheils der Ocularröhre und ein Querdurchschnitt der Fadenkreuzplatte in natürlicher Gröfse dargestellt ist. Derselbe unterscheidet sich im Wesentlichen dadurch von den gewöhnlichen Distanzmefsern, dafs in der Ocularröhre zwei senkrecht über einander in einer Ebene liegende, aber von einander getrennte Fadenkreuze angebracht sind. Das obere a befindet sich auf der Fadenkreuzplatte, das untere b aber auf einer anderen durchbohrten Platte c, welche sich in dem Ringe der ersteren in senkrechter Richtung verschieben läfst.

*) F. W. Netto's Handbuch der gesammten Vermefsungskunde 1. Band, S. 213. Berlin, 1820. Daselbst ist auch der Diastimeter und das Pantometrum beschrieben.

**) Beschreibung eines neuen Entfernungsmefsers zur Anwendung beim Aufnehmen und Recognoscieren. Berlin 1837.

Fig. 250.





Zu dieser Verschiebung dient die durch die Ocularröhre gehende Schraube *d* und eine plattenförmige Feder *e*, welche in der Höhlung des erwähnten Ringes angebracht ist. Zu jedem der Fadenkreuze gehört eine Ocularlinse α und β, deren Achsen selbstverständlich mit der geometrischen Achse des Fernrohrs parallel sind. Die Ocularplatte *f g* läſst sich durch das daran befindliche Schraubengewinde so weit verstellen, daſs die beiden Fadenkreuze dem Auge des Beobachters ganz deutlich erscheinen.

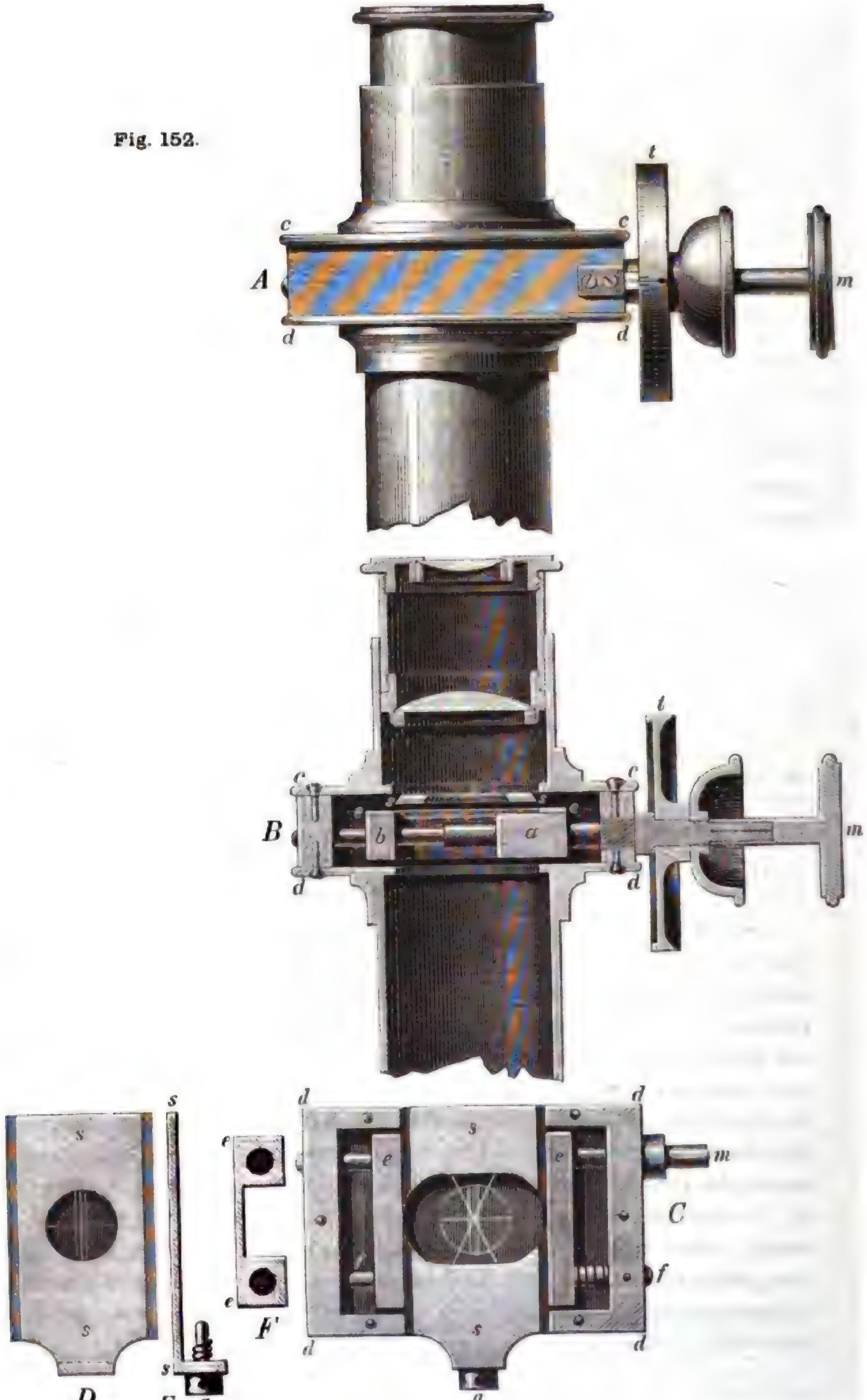
Ueber die Einstellung der Fadenkreuze auf eine gegebene Distanzlatte ist §. 307. 2. und über die Bestimmung einer auf dem Felde gegebenen Entfernung §§. 317. und 318 zu vergleichen.

Anmerkung. Eine ausführliche Beschreibung des Reichenbach'schen Distanzmeſsers findet sich auſser in Bauernfeind's Elementen der Vermeſsungskunde, u. a. in Dingler's polytechnischem Journal. Band 116., S. 29, vom Professor G. Decher.

§. 484.

Mit dem im §. 308. beschriebenen Meyerstein'schen Distanzmeſser, von welchem Fig. 152. die vordere Ansicht und den Verticaldurchschnitt des Oculars mit der den Schieber bewegenden Mikrometerschraube und den Durchschnitt des Fadennetzkastens darstellt, läſst sich mittelst der beiden äuſseren Horizontalfäden und dem beweglichen Faden des Fadennetzes nach §. 317. eine Distanz zwischen zwei gegebenen Punkten dadurch bestimmen, daſs man den einen der äuſseren Horizontalfäden auf den Nullpunkt der Latte bringt und mittelst Umdrehung der Mikrometerschraube den Abstand des anderen äuſseren Fadens von dem oberen Punkte der Latte in Trommeltheilen bestimmt, woraus dann sogleich der Werth der Trommeltheile von *A B* (Fig. 150.), also auch nach §. 309. die Distanz bestimmt werden kann. Indessen läſst sich letztere auch allein schon durch den beweglichen Faden, ohne *A B* zu bestimmen, ermitteln, sobald der Werth der Umdrehungen der Mikrometerschraube für eine gewisse Distanz in Bezug auf den Abstand der beiden Theilstriche der Latte bekannt ist.

Fig. 152.



Ist (Fig. 251.) in dem einen Endpunkte A einer mit der gröfsten Genauigkeit gemefsenen Linie $A B$, deren Horizontalabstand $= a$ ist, der Distanzmefser,

Fig. 251.



in dem anderen Endpunkte B die Distanzlatte, welche in dem Abstande d die Marken o und u enthält, aufgestellt und sind m Umdrehungen der Mikrometerschraube des Mikrometeroculars erforderlich, um das bewegliche Fadenkreuz desselben von o nach u zu bringen, so kann, wie schon im §. 364. gezeigt, der zugehörige Winkel $o M u$ durch $\frac{d}{a}$ 206265 Sekunden dargestellt werden. Es beträgt daher eine Umdrehung der Trommel

$$n = \frac{d}{a \, . \, m} \, 206265 \text{ Sekunden.}$$

Befindet sich nun die Latte mit den unveränderten Marken o_1 und u_1 in B_1 bei dem Abstande von $A = a_1$ und sind nun m_1 Umdrehungen der Mikrometerschraube für den Winkel $o_1 M u_1$, μ Umdrehungen dagegen bei der Bewegung des Fadenkreuzes von o_1 nach der gedachten horizontalen Visierlinie $M C_1$ erforderlich, so ist

$$\text{tg } o_1 M C_1 = \frac{o_1 C_1}{a_1},$$

also

$$a_1 = \frac{o_1 C_1}{\text{tg. } o_1 M C_1}.$$

Da aber

$$o_1 C_1 = \frac{d \mu}{m_1},$$

$$\text{tg } o_1 M C_1 = \frac{\mu \, . \, n}{206265} \text{ Sekunden}$$

gesetzt werden kann, so ist

$$a_1 = \frac{d \, . \, \mu \, 206265}{\mu \, . \, n \, . \, m_1}$$

oder nach Substitution des obigen Werthes für n

$$a_1 = \frac{a \, . \, m}{m_1}.$$

Drückt man demnach m und m_1 in Trommeltheilen der Mikrometerschraube aus, so giebt das Product des Quotienten $\frac{m}{m_1}$ in die bekannte Distanz a, für

welche bei dem Abstande d der Marken o und u, m Umdrehungen der Mikrometerschraube erforderlich waren, die gesuchte Distanz a_1.

Der Stampfer-Starke'sche Distanzmefser.

§. 485.

Richtet man das Fernrohr des in §. 365. beschriebenen Stampfer-Starke'schen Niveau's zuerst auf die obere, dann auf die untere Scheibe der zugehörigen in Fig. 168. dargestellten Nivellierlatte, die hier als Distanzlatte dient, und sind die Ablesungen an der Mikrometerschraube beziehungsweise wieder o und u (§. 364.), so ist der Winkel α zwischen den Visierlinien CO und CU (Fig. 178.) der Anzahl der Schraubengänge proportional. Setzt man daher die Distanz zwischen A und $B = D$, so ist wegen der Kleinheit des Winkels α, wenn der constante Abstand der beiden Scheiben wieder $= d$ gesetzt wird, ohne merklichen Fehler

$$d = D \operatorname{tg} \alpha = D \,.\, C\,(o - u),$$

also

$$D = \frac{d}{C\,(o - u)},$$

worin C eine Constante bezeichnet, welche von der Einrichtung des Instruments und dem Werthe der Schraubengänge abhängt.

Den Werth dieser Constante wird man erhalten, wenn man auf einer möglichst horizontalen Fläche eine Länge D mit möglichster Schärfe bestimmt, in dem einen Endpunkte der Linie das Instrument, in dem anderen die Latte aufstellt und durch eine gröfsere Anzahl von Beobachtungen von verschiedenen Punkten der Scale aus die Werthe von o und u und daraus die Werthe von $o - u$ bestimmt. Dann wird durch den Mittelwerth der verschiedenen Werthe von $o - u$ der Werth von C aus der Gleichung

$$C = \frac{D}{o - u}$$

sich ergeben. Setzt man also $\frac{1}{C} = K$, so ist

$$D = \frac{K \,.\, d}{o - u}.$$

Bei den in der Werkstätte des Wiener polytechnischen Instituts verfertigten Instrumenten ist der mittlere Werth $K = 324$, mithin

$$D = \frac{324}{o - u} \,.\, d.$$

§. 486.

Ueber die Genauigkeit der Distanzmeſsung bemerkt Stampfer *), daſs ein Fehler nur dadurch entstehen kann, daſs der Werth für $o - u$ etwas fehlerhaft ist. Bezeichnet man diesen Fehler durch x und den dadurch in D entstehenden Fehler durch ∂D, so ist

$$\partial D = \frac{D^2 x}{324 \,.\, d},$$

so daſs demnach der Fehler in der Distanz im quadratischen Verhältniſs von D wächst, und um so kleiner ist, je gröſser der Abstand d der beiden Scheiben ist. Bei gröſseren Distanzen ist daher der erwähnte Abstand zu vergröſsern, was durch die Einrichtung der Latte auch leicht erreicht werden kann.

In der angeführten Schrift bemerkt Stampfer ferner, daſs bei einer gröſseren Zahl von Beobachtungen x meistens kleiner ist, als 0,003 Schraubengänge und daher, wenn man die Genauigkeit einer unter nicht sehr günstigen Umständen ausgeführten Kettenmeſsung $= \frac{1}{1000}$ setzt, der in Rede stehende Distanzmeſser kleine Distanzen genauer giebt, als die Meſskette. Will man daher eine Distanz möglichst genau haben, so würden die Einstellungen des Fernrohrs auf die Scheiben der Latte zu wiederholen sein, und dann bei einem nur etwas geübten Beobachter x kaum gröſser als 0,001 anzunehmen sein. Auch würde man durch Zertheilung einer gröſseren Distanz in mehrere kleinere und durch Meſsung jedes einzelnen Theiles die gesuchte Distanz ebenfalls genauer erhalten können.

Anmerkung. Für praktische Anwendungen enthält das angeführte Werk von Stampfer in der Tafel 1. die Distanz für $\frac{324}{o - u}$ von Hundertstel zu Hundertstel Schraubengang, also für $d = 1$. In der mit Proportionaltheile überschriebenen Spalte finden sich die Proportionaltheile für die dritte Decimalstelle von $o - u$. Die noch folgenden Tafeln enthalten noch anzubringende Verbeſserungen. Man findet diese Tafeln auch in Bauernfeind's Vermeſsungskunde.

Der Distanzmeſser von Rospini.

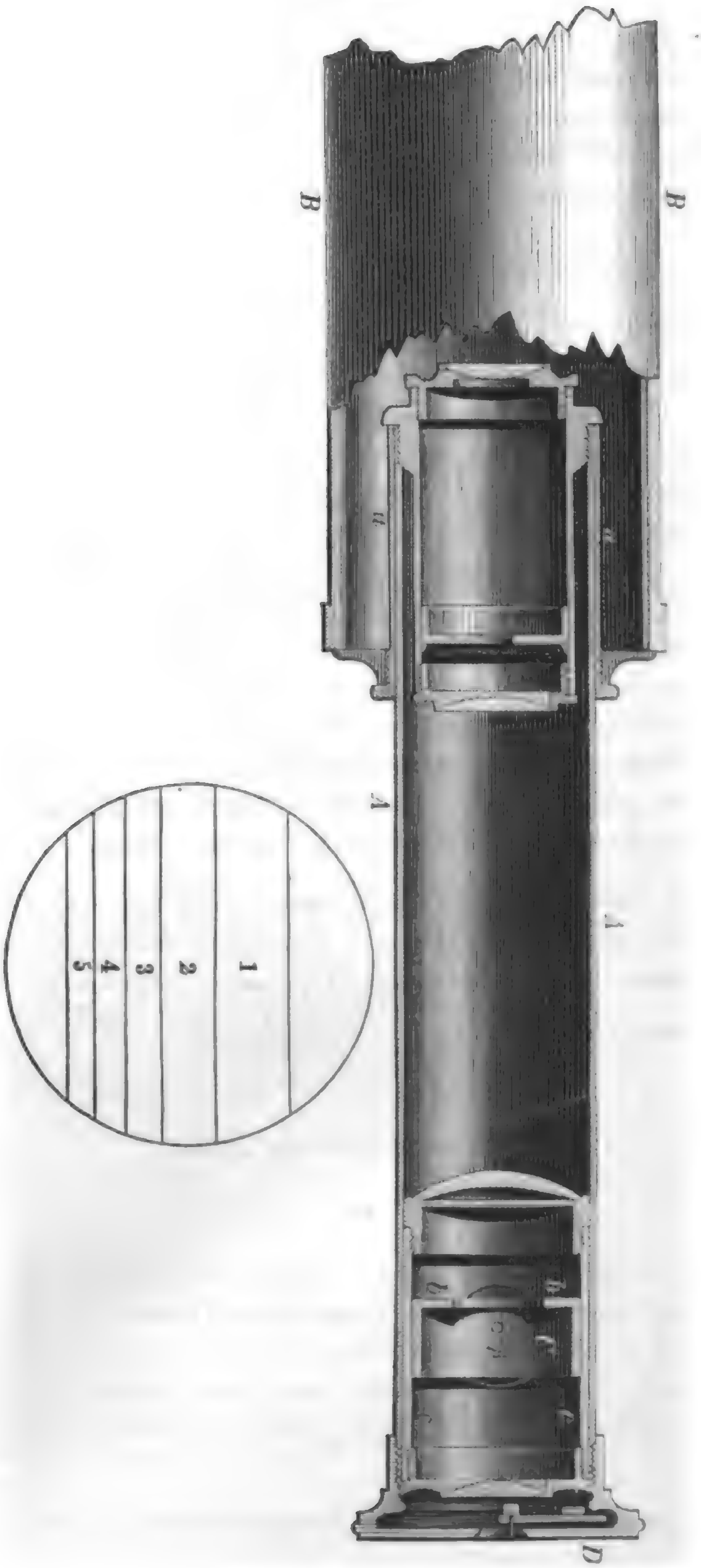
§. 487.

Dieser nur zu militairischen Zwecken dienende von Rospini in Wien construierte Apparat besteht aus einem kurzen guten Fernrohr mit terrestrischem Ocular, ähnlich dem in Fig. 97. dargestellten Ocular.

Fig. 252. giebt in natürlicher Gröſse einen Längendurchschnitt des Oculars mit dem hinteren Theile der Objectivröhre. Durch den auf die Ocularröhre $A\,A$

*) Anleitung zum Gebrauche der verbeſserten Nivellierinstrumente u. s. w. von S. Stampfer. Wien, 1839. S. 34.

Fig. 252.



geschobenen federnden Ring *a a* kann dieselbe mit dem Objectivrohr *B B* verbunden und durch Einschieben des Auszuges das Fernrohr bis auf die Länge von etwa 7 Zoll verkürzt, also bequem transportiert werden. Das Fadennetz findet sich auf der vorderen Fläche *b b* der Trommel *C*. Die sie umgebende Röhre *c c*, welche das Ocular und die Collectivlinse enthält, hat an zwei diametral gegenüberliegenden Stellen einen Ausschnitt β, um an den vortretenden Schraubenköpfen die Trommel dahin schieben zu können, dafs das Fadennetz von dem Auge des Beobachters in völliger Reinheit wahrgenommen werden kann. Soll diefs geschehen, so wird die Ocularplatte *D* abgeschraubt, wodurch die Röhre *c c* ausgezogen werden kann. Nach dem Einstellen des Fadennetzes ist die Platte *D* wieder aufzusuchrauben. Das in vier Mal gröfserem Mafsstabe dargestellte Fadennetz besteht aus sechs, so parallel eingespannten Fäden, dafs deren Zwischenräume 1, 2, 3, 4, 5 von einem 4½ Wiener Fufs hohen Objecte genau ausgefüllt werden, wenn dasselbe beziehungsweise in einem Abstande von 50, 100, 150, 200, 250 Wiener Klafter von dem Beobachter sich befindet.

Hieraus ergeben sich daher für den militairischen Gebrauch folgende Regeln.

1. Nimmt man die mittlere Manneshöhe bis zum Auge, oder beim Infanteristen bis zum Schirm der Kopfbedeckung zu 4½ Wiener Fufs an, und schneidet der untere Faden eines der erwähnten Zwischenräume den Fufs eines mit dem Fernrohre beobachteten Infanteristen, der obere aber den Schirm der Kopfbedeckung ab, so entspricht für die auf einander folgenden Zwischenräume die Entfernung desselben beziehungsweise der vorhin erwähnten Zahl von Wiener Klaftern.

2. Dasselbe ist beim Cavalleristen der Fall, wenn der obere Faden bis zum Mantelsack reicht.

3. Erstreckt sich die Ausführung nur auf die Hälfte, oder das Drittel, Viertel u. s. w. des Zwischenraums, so beträgt die Entfernung beziehungsweise das Doppelte, Dreifache, Vierfache u. s. w. der obigen Zahlenwerthe.

4. Wird der Zwischenraum aber nur von der Hälfte, dem Drittel, Viertel des 4½ Wiener Fufs hohen Gegenstandes eingenommen, so beträgt auch die Entfernung nur die Hälfte, das Drittel u. s. w. von 50, 100 . . . Wiener Klaftern.

Auf dieselbe Weise würde man auch die Entfernung eines beobachteten Infanteristen oder Cavalleristen leicht beurtheilen können, wenn irgend ein Vielfaches der vorhin erwähnten Stammbrüche in Bezug auf den Zwischenraum oder den Gegenstand beobachtet würde. Wenn z. B. vom zweiten Zwischenraume nur $^1/_5$, $^2/_5$, $^3/_5$, $^4/_5$ vom Gegenstande ausgefüllt würde, so beträgt die Entfernung desselben beziehungsweise $5 . 100$, $^5/_2 . 100$, $^5/_3 . 100$ und $^5/_4 . 100$ d. h. 500, 250, 166, 125 Klafter; eben so würde auch in Bezug auf jeden der anderen Zwischenräume sich die Entfernung festlegen lafsen. Allein da das Fernrohr nur stets in freier Hand gehalten wird, so dürfte die Bestimmung um so unsicherer werden, einen je tieferen Zwischenraum der beobachtete Gegenstand einnimmt.

In der dem Distanzmefser beigegebenen Gebrauchsanweisung wird auch von dem Erfinder die Anwendung einer Distanzlatte zur Bestimmung der Entfernungen auf analoge Weise empfohlen, wie sie bei den oben beschriebenen Distanzmefsern zur Distanzbestimmung diente. Trägt man nämlich den 10ten Theil von $4\frac{1}{2}$ Wiener Fufs, also 5,4 Wiener Zoll als Einheit auf eine Latte so oft, als es die Transportabilität der Latte gestattet, z. B. 16 Mal auf, so würde diese Objectivhöhe einer Entfernung von 16 Mal 5,4 Fufs, d. h. von 86,4 Wiener Fufs entsprechen. Werden also die Fäden des Zwischenraums 1 benutzt, so wird, wenn beide Fäden die äufsersten Theilpunkte decken, die Entfernung $16 . {}^{50}/_{10}$ d. h. 80 Klafter, und bei der Benutzung der Fäden des Zwischenraums 5, $16 . {}^{250}/_{10}$ d. h. 400 Klafter betragen u. s. w. Allein auch von diesen Bestimmungen dürfte bei der Behandlung des Fernrohrs aus freier Hand nicht die denkbare Genauigkeit zu erwarten sein. Dennoch wird es bei den Aufnahmen nach dem Augenmafs von dem Militair mit Nutzen angewandt werden können.

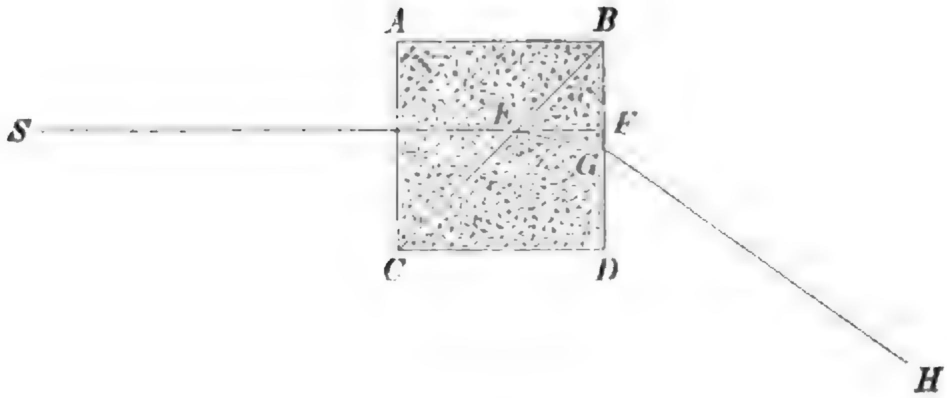
§. 488.

Schliefslich mögen hier noch zwei Einrichtungen erwähnt werden, die schon vor längerer Zeit zur Distanzmefsung vorgeschlagen wurden, vom theoretischen Standpunkte aus auch die erforderliche Genauigkeit darboten, in der Praxis aber solche nicht bewährt haben.

Die erste besteht in der Anwendung der Glasmikrometer von Brander in Augsburg. An die Stelle des gewöhnlichen Diaphragma's für das Fadennetz im Fernrohr wurde nämlich eine dünne Glasplatte gebracht, auf welcher in gleichen Abständen von einander feine Theilstriche eingerifsen waren. Die dazu angewandte Latte enthielt nur zwei unabänderliche Marken ohne weitere Eintheilung. Mafs man nun eine Linie von einer solchen Länge ab, für welche die äufsersten Theilstriche mit dem Bilde der Marken auf der Latte zusammenfielen und beobachtete, wie viel Theilstriche des Mikrometers in irgend einem anderen Abstande durch das Bild der Marken gedeckt wurden, so konnte man hieraus wieder auf die Entfernung der Latte schliefsen. Bei dem Brander'schen Distanzmefser wurde also die Eintheilung der Latte für die anderen Distanzmefser durch die Eintheilung des Fadennetzes und die Stelle der beiden Horizontalfäden der letzteren durch die Marken auf der Latte zu dem Brander'schen Distanzmefser vertreten, was aber nicht zum Vortheil der Beobachtung dienen konnte.

Die zweite Einrichtung rührt von Rochon her, der dieselbe schon 1783 zur Mefsung der scheinbaren Durchmefser der Himmelskörper anwandte, und auch zur Bestimmung der Entfernungen terrestrischer Objecte vorschlug. Es bezeichnen nämlich ABC und CBD (Fig. 253.) zwei durch ein völlig durchsichtiges Mittel zusammengekittete dreiseitige Prismen von Bergkrystall, von welchen die optische Achse des einen zu der Ebene AC normal, die des anderen aber mit der geminschaftlichen Kante D der Ebenen CD und BD parallel liegt.

Fig. 253.



Fallen nun von irgend einem Gegenstande S Lichtstrahlen normal auf die Ebene AC, so werden sie nach den Gesetzen der Brechung in derselben Richtung bis zur Grenzebene des zweiten Prisma's, bis E fortgehen. In dem letzteren werden die ordinären Strahlen des Lichts ebenfalls nicht abgelenkt, also der Strahl SE bis F fortgehen, während die extraordinären Strahlen in demselben eine Ablenkung, etwa nach der Richtung EG, und dann beim Austritt aus dem Prisma abermals eine Brechung, etwa nach der Richtung GH erleiden. Sieht man also durch ein solches Doppelprisma nach irgend einem Gegenstande, z. B. nach einer kreisförmigen Scheibe, so wird man zwei Bilder derselben erblicken, die nach der Gröfse und Entfernung entweder sich mehr oder weniger decken oder von einander getrennt erscheinen werden. Bringt man nun das Prisma in eine solche Entfernung vom Ocular, dafs beide Bilder sich berühren, so werden ihre Mittelpunkte um den Durchmefser d der Scheibe von einander abstehen. Bezeichnet man demnach den Winkel, welchen die nach dem Mittelpunkte des ordinären und des extraordinären Bildes gezogenen Visierlinien mit einander bilden, durch α, die Entfernung des Prisma's von der Scheibe aber durch e, so ist

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{d}{e},$$

also

$$e = \frac{d}{\operatorname{tg} \alpha},$$

woraus, wenn der für ein solches Prisma constante Winkel α als bekannt angenommen wird, die Möglichkeit der Distanzmefsung sich ergiebt. Rochon brachte zu diesem Zweck das Doppelprisma in ein Fernrohr so zwischen dem Objectiv und Ocular an, dafs dasselbe nach Belieben vom Objectiv entfernt oder demselben genähert werden konnte, um die Berührung der Bilder des Objects zu Stande zu bringen. Ein solches Fernrohr wird nach seinem Erfinder ein Rochon'sches Mikrometer genannt. Als Distanzmefser sagt darüber schon

Biot *), dafs derselbe wohl geeignet sei, nach der mittleren Statur der Soldaten, welche ein Truppencorps ausmachen, ihre Entfernung zu schätzen, auch wohl auf dem Meere die Entfernung eines Schiffes bestimmt werden könne, wenn man seine Masten von einer gewifsen Höhe annähme, die Resultate aber um so mehr Ungenauigkeiten gäben, je gröfser die Entfernung und je kleiner das Object sei.

*) Lehrbuch der Experimental-Physik oder Erfahrungs-Naturlehre von J. B. Biot. 3. Aufl. Uebers. von Fechner. Leipzig, 1825. III. S. 369.

ZWEITE ABTHEILUNG.

Theorie, Beschreibung und Gebrauch der geometrischen Instrumente zum Auftragen und Kartieren.

I. Die zur Vergleichung der Linien und Winkel dienenden Werkzeuge und ihr Gebrauch.

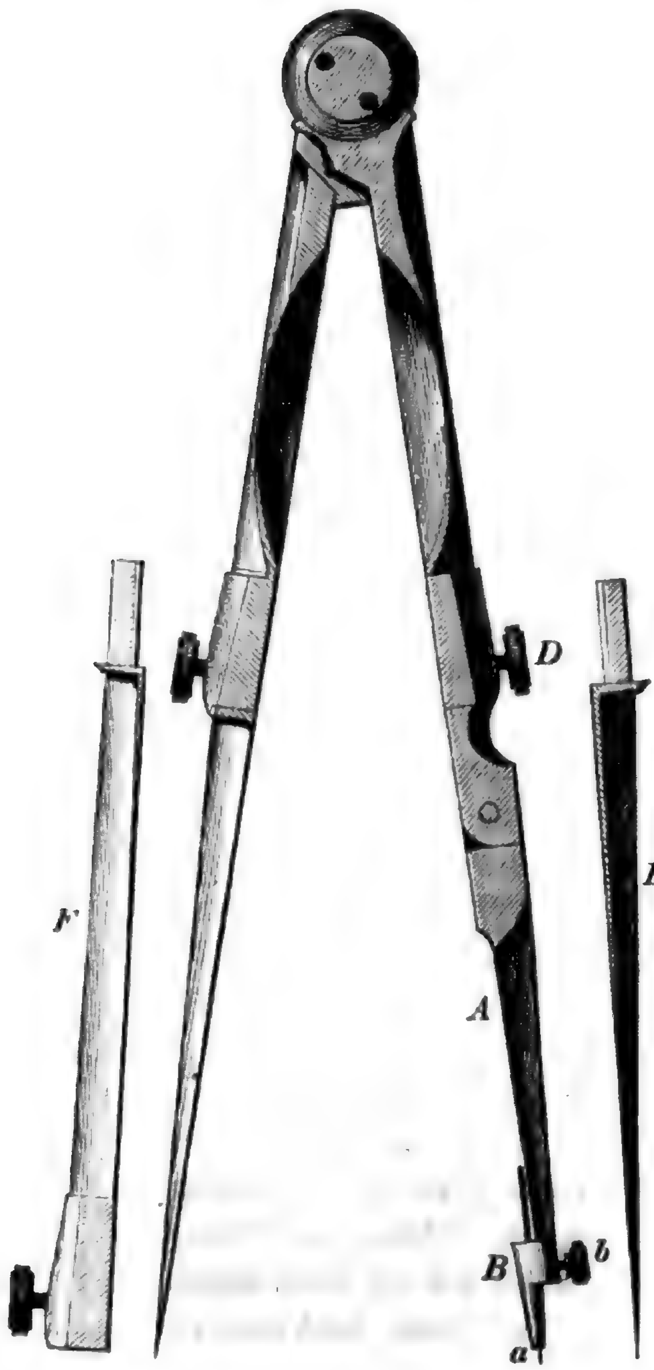
§. 489.

Eine vollständige Beschreibung und Abbildung der in den kleineren Reifszeugen enthaltenen Hand- und Einsatz- oder Stückzirkel nebst Einsatzstücken, Handreifsfedern, Federzirkeln u. s. w. darf hier, als allgemein bekannt, füglich übergangen werden; es sollen daher hier nur noch einzelne Bemerkungen über ihre nothwendigen Eigenschaften und ihren Gebrauch, so wie eine kurze Beschreibung einzelner, nur in den gröfseren Reifszeugen sich vorfindender Zeicheninstrumente folgen, von denen einzelne allerdings nur speciellen Zwecken dienen.

§. 490.

Die Länge der Hand- und Stückzirkel schwankt zwischen 2 und 6 bis höchstens 8 Zoll; ihre Füfse, so wie das mittlere Stück des Charnierkopfes sind von gutem Stahl verfertigt und der in eine feine Spitze auslaufende Theil derselben, die Spitze, ist von pyramidalischer oder halbkonischer Form und gehärtet. Nur die vom Markscheider beim Zulegen mit dem Compasse angewandten Handzirkel bestehen aufser der nur einige Linien langen Stahlspitze ganz aus eisenfreiem Messing. Ein guter Zirkel mufs nicht nur einen völlig gleichmäfsigen, sondern auch einen so leichten Gang haben, dafs er durch einen leichten Druck des auf dem einen Schenkel liegenden Zeigefingers mehr geschlofsen, oder durch den Druck des zwischen den Schenkeln liegenden Mittelfingers mehr geöffnet werden kann. Diefs wird durch zweckmäfsiges Anziehen oder Lüften der scheibenförmigen Schraubenmutter des Kopfes mittelst eines beigegebenen Schlüfsels erreicht. Die mit dem Zirkel abzunehmenden oder aufzutragenden Längen dürfen die Länge der Schenkel desselben nur um ein Weniges übertreffen, damit die Spitzen gegen das Papier möglichst senkrecht zu stehen kommen. Zu diesem Zwecke sind wohl Schenkel und Füfse des Zirkels nicht zusammengelöthet, sondern durch ein Charnier mit einander verbunden.

Fig. 254.



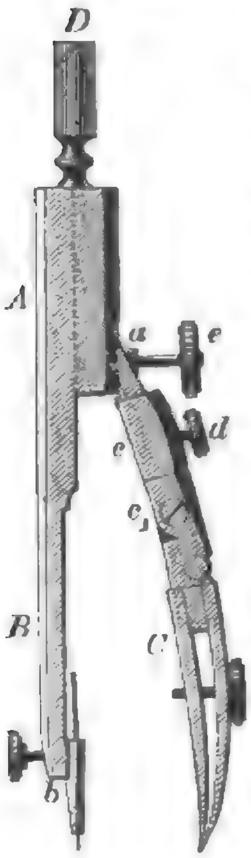
Bei den Stückzirkeln ist der sonst festgelöthete Fufs jetzt zweckmäfsiger durch einen mit einem Charnier versehenen Nadeleinsatz vertreten, wie diefs *A* in Fig 254. zeigt. Das untere Ende des Fufses trägt eine kleine Hülse *B*, welche eine feine Stahlspitze (Nadel) *a* aufnimmt und durch das Druckschräubchen *b* befestigt wird. Im Falle die Nadel beschädigt sein sollte, kann sie leicht durch eine befsere ersetzt werden. Wird die Druckschraube *D* gelöst, so kann auch der Fufs mit dem Nadeleinsatz durch den Stahlfufs *E* vertauscht werden. Eben so kann man auch den Fufs des anderen Schenkels durch die Verlängerungsstange *F* ersetzen, welche wieder die Aufnahme einer Einsatzreifsfeder oder eines Bleirohrs gestattet, so dafs die Beschreibung von Kreislinien mit grofsem Halbmefser möglich ist.

§. 491.

1. Der Nullenzirkel.

Er dient, wie schon der Name sagt, zur Construction sehr kleiner Kreise. Der in Fig. 255. in natürlicher Gröfse dargestellte Zirkel hat einen prismatischen Kopf *A*, mit welchem der eine Schenkel *B*, dessen Fufs einen Nadeleinsatz *b* enthält, aus einem Stück besteht. In der seitlichen Aushöhlung des Kopfes ist eine starke, plattenförmige Feder *a* befestigt, deren unteres Ende in der Hülse *c* festgelöthet ist. Letztere nimmt eine mit einem Charnier c_1 versehene Einsatzreifsfeder *C* oder ein Bleirohr auf und kann durch das Druckschräubchen *d*

Fig. 255.



befestigt werden. Zu der feinen Bewegung des beweglichen Fufses dient die Stellschraube *e*, deren Mutter die Feder enthält. Der cylindrische, fein gereifte Knopf *D* dient zum bequemeren Anfafsen.

Eine s. g. **französische Kreisfeder** (Federzirkel) zum Beschreiben kleiner Kreise findet sich u. a. in **Schneitler's** Instrumenten und Werkzeugen etc., 2. Aufl., Leipzig 1852, Seite 314., angegeben.

§. 492.

Bei dem gewöhnlichen **Federzirkel** mufs die seine Schenkel verbindende Schraubenstange, zur Vermeidung des unsicheren Ganges, ein gerader Cylinder und darf nicht gebogen sein, obgleich man letztere Construction meistens antrifft. Zur Prüfung der Stärke der Feder schraubt man allmälig beide Schenkel mittelst der Mutter dicht zusammen und läfst so den Zirkel mehrere Stunden liegen. Hält er diese Probe aus, so hat die Feder die erforderliche Vollkommenheit. Man bedient sich der Federzirkel vorzugsweise nur bei der Construction der Transversalmafsstäbe.

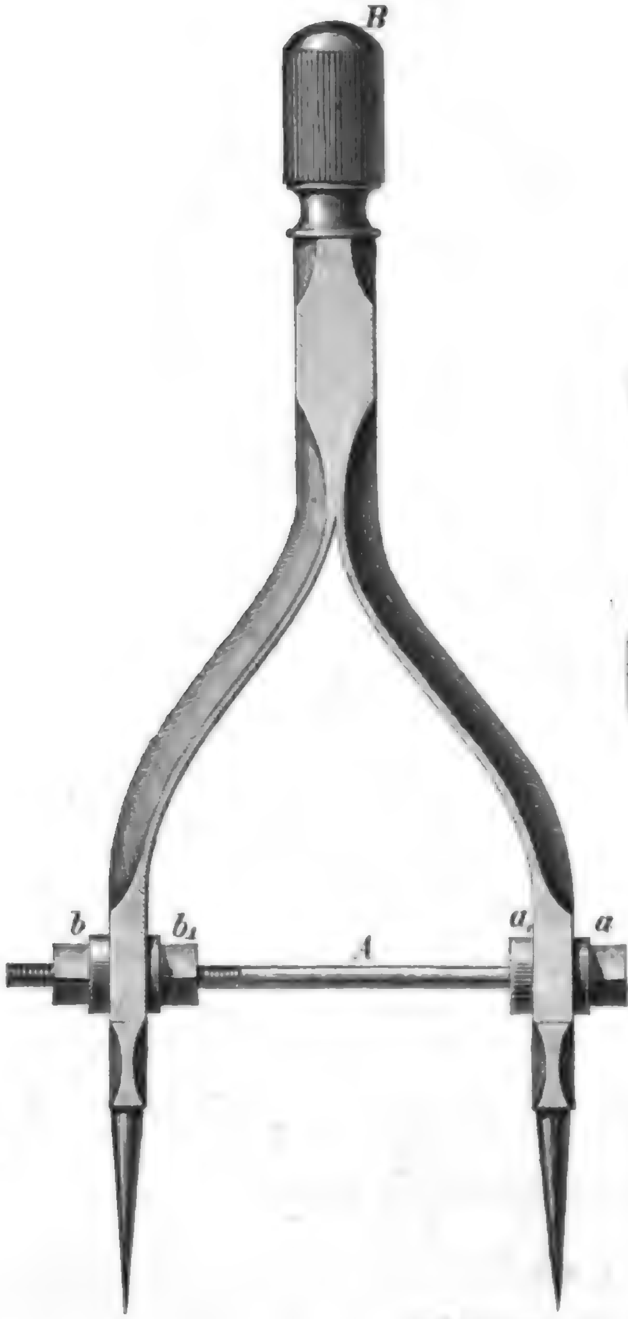
Fig. 256. stellt einen Federzirkel dar, wie er beim Auftragen des Quadratnetzes auf die Mefstischplatten bei der Anfertigung der Generalstabskarte vom Königreich Hannover angewandt wird. Bei der vorgeschriebenen Verjüngung $\frac{1}{25000}$ stellt der Abstand der Spitzen 1000 Meter dar. Die Schraubenstange *A* ist in den Schenkeln durch die Muttern *a*, *b* und die Gegenmuttern a_1, b_1, welche mittelst des Schlüfsels *c* bewegt werden, auf unabänderliche Weise befestigt. Der cylindrische, gereifte Knopf *B* dient zum bequemeren Anfafsen.

§. 493.

2. Der Universalzirkel.

Wie der Name angiebt, soll der Universalzirkel nicht allein den Handzirkel, sondern auch den Stückzirkel mit der Reifsfeder und dem Bleirohr bei dem Beschreiben sowohl gröfserer, als kleinerer Kreise mit gleicher Genauigkeit ersetzen, zugleich aber auch die Eigenschaft bequemer Transportabilität besitzen. Er zeigt sehr verschiedene Constructionen, die zuerst von Pariser Mechanikern ausgeführt wurden. Der in den Figg. 257. und 258. in natürlicher Gröfse dargestellte Universalzirkel hat den Charnierkopf *A* des gemeinen Zirkels. Der obere, prismatisch geformte Theil *B*, *B* seiner Schenkel hat nach Innen eine Aushöhlung zur Aufnahme der Stahlspitzen *b*, *b*. Die Fortsätze *C*, *C* haben nach Innen einen Ausschnitt, in welche sich durch das Charnier *c*, *c* der untere wieder ausgehöhlte Theil *D*, *D* der Schenkel legen läfst. Letztere haben an ihrem

Fig. 256.





unteren Ende wieder ein Charnier *d*, *d*, zwischen welchen sich einerseits die Stahlspitze *b* und das Bleirohr b_1, andererseits die Stahlspitze *b* und die Reifsfeder b_2 drehen läfst, aus welcher Verbindung sogleich die Möglichkeit des vorhin angedeuteten allgemeinen Gebrauchs sich ergiebt. Bringt man also b_1 und b_2, oder Statt ihrer *b* und *b* in die Aushöhlung von *D*, *D* und dreht letztere um *c*, *c*, so legt sich, wie Fig. 258. zeigt, *D*, *D* zwischen *C*, *C*, während die Spitzen *b b* von den Aushöhlungen *B*, *B* aufgenommen werden.

Bei einer anderen Construction bestehen die beiden Schenkel *BC*, *BC* aus hohlen Cylindern, die Unten einen Schlitz enthalten, in welche die, ebenfalls in ihrer Mitte durch ein Charnier verbundenen Theile *b*, b_1 und *b*, b_2 geschoben und durch eine auf ihrer Oberfläche befindliche Stahlschiene, die sich in den erwähnten Schlitz schiebt, festgehalten werden können. Durch eine Verlängerungsstange, die von dem einen der Schenkel aufgenommen wird, kann der Gebrauch auch auf das Beschreiben noch gröfserer Kreise ausgedehnt werden.

Noch andere von Lebrun in Paris angefertigte Universalzirkel findet der Leser in Schneitler's Instrumenten etc. S. 313. verzeichnet.

§. 494.

3. Der Fünfziger Zirkel.

Dieser in Fig. 259. dargestellte Zirkel wird von den Hannoverschen Landes-Oeconomie-Geometern zum Abstecken der Längen von 50 Ruthen auf den Karten

Fig. 257.

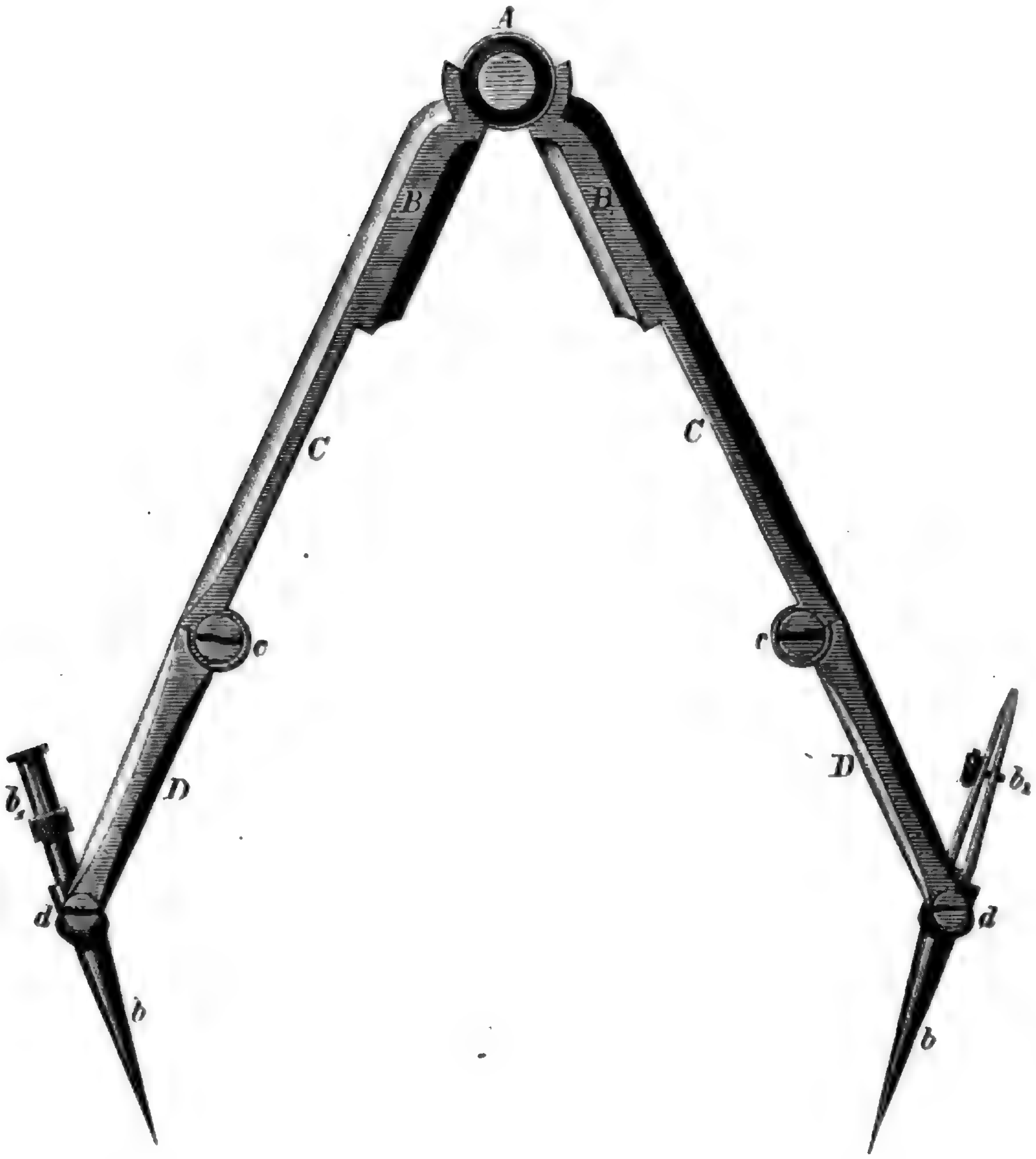


Fig. 258.

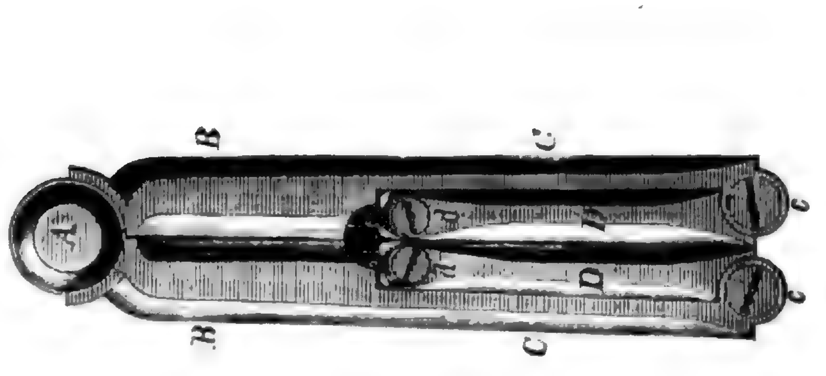


Fig. 259.



angewandt, daher der obige Name. Die stählerne Schraubenstange *A* ist wie beim Federzirkel mit ihrem einen Ende an dem einen Schenkel festgelöthet, während die Spitze des anderen Schenkels durch die Mutter *a* und Gegenmutter *b* der genaue Abstand von 50 Ruthen von der Spitze des ersten Schenkels dauernd gegeben werden kann. Zur Feststellung der Muttern dient wieder der Schlüfsel *c*. Der untere Theil der Schenkel von den Linien *dd* an, ist von Stahl.

§. 495.

Bei den Reifsfedern bestehen die Blätter oder Backen ebenfalls aus einerlei und gleichmäfsig gehärtetem Stahl, deren untere zugeschärfte Enden noch mehr

gehärtet sind. Bei den Handreifsfedern müfsen zur Erzielung gleichmäfsiger Striche die Blätter sich nach Innen federn und sind dieselben dann mit einer Druck- oder Stellschraube versehen. Für die Stückreifsfedern dagegen reicht eine Federung der Blätter nach Aufsen hin und werden dann beide durch eine Klemmschraube bis zu der der Dicke des Strichs entsprechenden Weise genähert. Die erstere Einrichtung hat auch noch den Vortheil einer stärkeren Federkraft ihrer Blätter. In beiden Fällen aber müfsen die Backen bei der Bewegung ihrer Schraube sich gleichmäfsig und sanft nähern oder von einander entfernen. Nach dem Gebrauch der Reifsfeder sind die inneren Flächen der Backen sorgfältig durch das Durchziehen eines weichen Papiers zu reinigen, zu welchem Zwecke auch wohl das eine Blatt durch ein Gelenk mit dem anderen verbunden ist.

Die älteren englischen Constructionen der Zeicheninstrumente findet der Leser in G. Adam's geometrischen und graphischen Versuchen; übersetzt von Geifsler, Leipzig 1795.

§. 496.

4. Der Stangenzirkel.

Er dient zum Mefsen und Auftragen solcher Längen, bei denen der Hand- oder Stückzirkel nicht mehr angewandt werden kann. Sein Hauptbestandtheil ist eine drei- oder fünfseitige prismatische Stange AB (Figg. 260. und 261.) von Metall oder gut ausgetrocknetem Holz von 2 bis 4 Fufs Länge, an welcher zwei Metallhülsen C und D sich verschieben lafsen. Normal zur Achse des Prisma's

Fig. 260.

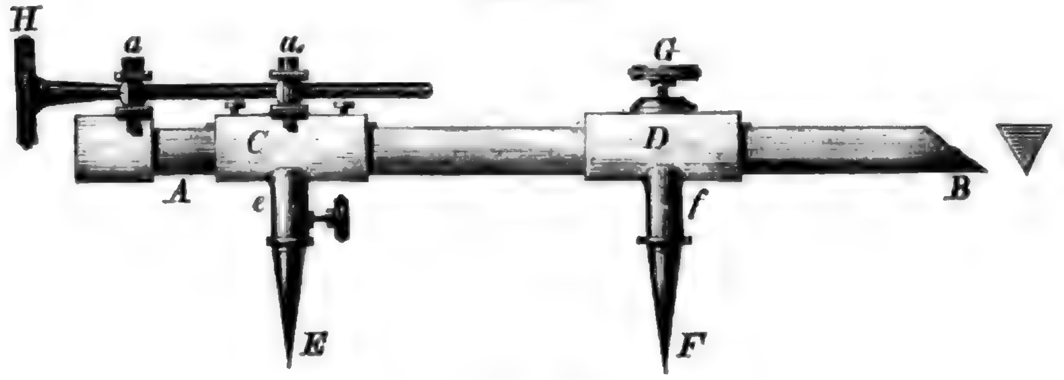
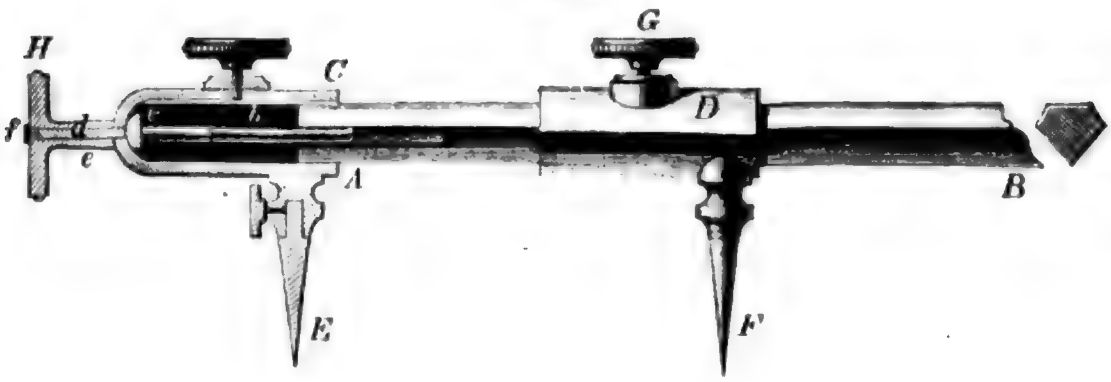


Fig. 261.



sind an den Hülsen cylindrische Ansätze festgelöthet, welche Zirkelspitzen E und F enthalten und von welchen letzteren die eine, E, meistens zum Herausnehmen eingerichtet ist, um sie mit einem Bleirohr oder einer Reifsfeder vertauschen zu können. Die eine der Hülsen, D, ist längs der ganzen Stange verschiebbar und kann durch eine Druckschraube G, welche gegen eine in der Hülse liegende Feder tritt, festgestellt werden. Die andere, C, steht mit dem hinteren Ende der Stange so in mittelbarer Verbindung, dafs ihr durch eine Mikrometerschraube H eine sanfte Bewegung ertheilt werden kann. Die Mikrometerschraube ist entweder, wie Fig. 260. zeigt, auf der horizontal liegenden Ebene der Stange zwischen Klemmen a und a_1 angebracht, von welchen a mit dem hinteren Ende der Stange in unmittelbarer Verbindung steht und die Kugel der Mikrometerschraube enthält, a_1 aber auf der zu bewegenden Hülse befestigt ist und die aufgeschlitzte Mutter der Schraube enthält. Der Schraube wird also nur eine drehende, ihrer Mutter mit der Hülse demnach eine fortgleitende Bewegung ertheilt. Durch kleine Prefsschräubchen kann der Gang der Schraube moderiert werden. Oder es wird, wie diefs Fig. 261. zeigt, der Schraube nicht nur eine drehende, sondern auch mit der sie umschliefsenden Hülse eine fortgleitende Bewegung ertheilt, während ihre Mutter in der Stange des Zirkels liegt. Zu diesem Zwecke enthält die Schraube b einen sich gegen die innere Fläche der Hülse legenden konischen Ansatz c und läuft in ein Parallelepipedum d aus, über welche die Hülse e des Schraubenkopfes H geschoben und durch ein Zugschräubchen f befestigt werden kann, so dafs durch Umdrehen des Kopfes, der Schraube aufser der drehenden Bewegung auch noch eine fortgleitende in der festliegenden Mutter ertheilt wird, wodurch demnach auch die Hülse C die letztere Bewegung erhält.

Soll mit dem Stangenzirkel eine gegebene Länge MN abgegriffen werden, so wird die Spitze E zunächst in die Nähe des Anfangspunkts M gesetzt und die Hülse D so weit auf der Stange verschoben, dafs die Spitze F den Endpunkt N nahezu erreicht und die Druckschraube G angezogen. Dann setzt man F genau in N und bringt durch Umdrehung der Mikrometerschraube die bewegliche Spitze E genau in M.

Um die Spitzen E und F mit der gröfsten Genauigkeit in die Endpunkte M und N bringen zu können, was insbesondere beim Uebertragen von Mafsen auf Mafsstäbe nöthig wird, sind um die cylindrischen Ansätze e, f (Fig. 260.) Ringe gelegt, von welchen ein mit einem Charnier versehener Loupenarm ausgeht, so dafs für jedes beliebige Auge die Coincidenz der Spitze mit dem Endpunkte der Linie vollkommen scharf beobachtet werden kann.

§. 497.

5. Der Reductionszirkel.

Die Construction und der Gebrauch des Reductionszirkels beruht auf dem planimetrischen Satze, dafs wenn in Fig. 262. $AB = AC$, so wie $AD = AE$ ist

und nun der Kreuzungspunkt A der Geraden DAC, so auf BE verschoben wird, dafs $FH = FE$ wird,

$$AB : AD = BC : DE$$
$$\text{und } FB : FH = BG : HE.$$

Ist also $AD = \frac{m}{n} AB$, so ist auch $DE = \frac{m}{n} BC$ und ist ebenso $FH = \frac{l}{n} FB$, so ist auch $HE = \frac{l}{n} BG$.

Dieser Eigenschaft wegen kann daher der Zirkel bei der Verjüngung der Karten und Pläne mit grofsem Nutzen angewandt werden.

Fig. 263. stellt etwa in halber wahrer Gröfse einen Reductionszirkel in vorderer und Seitenansicht dar. Er besteht aus zwei gleichgeformten Stangen A

Fig. 262.

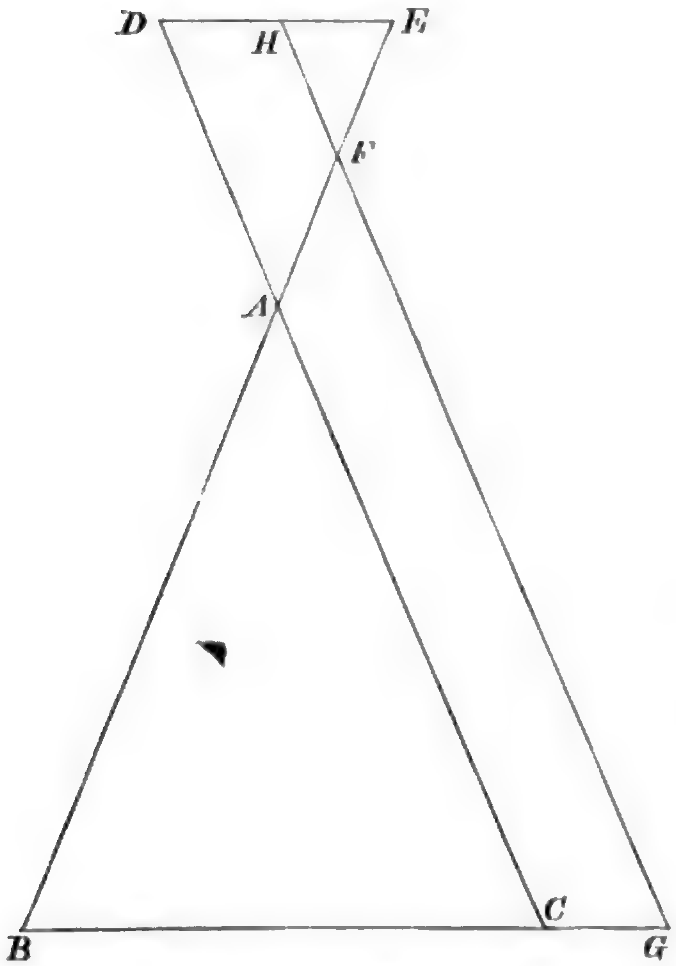
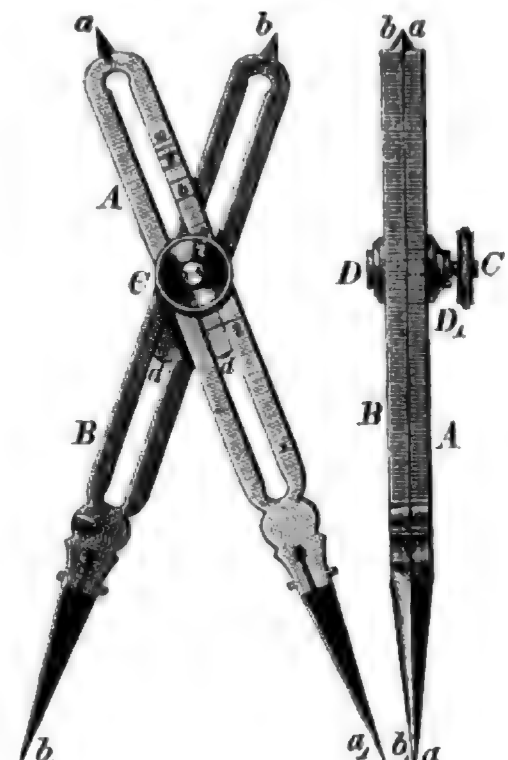


Fig. 263.



und B, an deren Enden Stahlspitzen a, a_1, b, b_1 angelöthet und der Länge nach mit Einschnitten versehen sind. In diesen kann, wenn der Zirkel geschlofsen ist, nämlich die Stangen sich decken, der mit einer Druckschraube C versehene Kopf DD_1 des Zirkels verschoben und an jedem beliebigen Punkte fesgestellt werden. Um während des Schliefsens eine Verschiebung der Schenkel auf einander zu vermeiden, enthält der eine Schenkel eine halbcylindrische Erhöhung c, auf welche die Vertiefung des anderen pafst. Nach dem Vorhergehenden werden daher, wenn

nach erfolgtem Anziehen der Schraube DD_1 die Schenkel wieder geöffnet werden, in demselben Verhältnifs, in welchem die veränderlichen Längen der Schenkel zu einander stehen, auch die Entfernungen zwischen den entsprechenden Spitzen zu einander sich befinden. Zur Bestimmung dieses Verhältnisses ist an der einen Seite der Einschnitte eine Theilung 1. 2. 3. ..... 10. (bei einigen Zirkeln auch bis 12.) vorhanden, zu welcher der mit dem Kopfe verbundene Schieber d, der durch die Einschnitte seine Führung erhält, den Indexstrich i trägt.

Vor dem Gebrauche löst man daher zuerst die Druckschraube C, schliefst die Schenkel, schiebt den Index auf die Ziffer für die verlangte Verjüngung, also z. B. für $1/3$ auf die Ziffer 3 und zieht darauf die Druckschraube wieder so fest an, dafs dem Wiederöffnen kein Hindernifs entgegensteht, ohne aber eine abermalige Verschiebung des Indexstriches befürchten zu müfsen. Alsdann ist in dem vorliegenden Falle die Länge ab gleich dem Drittel jeder abgenommenen Länge $a_1 b_1$. Es ist ersichtlich, dafs der Reductionszirkel auch bei der Construction der Mafsstäbe, um eine bestimmte Länge in eine vorgeschriebene Zahl gleicher Theile zu theilen, mit Nutzen angewandt werden kann.

Nach dem vorangeschickten Satze ist die Bestimmung der Theilstriche auf dem Schenkel des Zirkels sehr einfach. Da in Fig. 262. $BC : DE = AC : AD$, so ist, wenn man den Abstand der Spitzen jedes Schenkels = 1 setzt,

für die Verjüngung	der Abstand des Punktes A von der unteren Spitze C
$1/2$	$= 2/3 = 0{,}6666\ldots$
$1/3$	$= 3/4 = 0{,}75$
$1/4$	$= 4/5 = 0{,}8$
$1/5$	$= 5/6 = 0{,}8333\ldots$
$1/6$	$= 6/7 = 0{,}8571\ldots$
$1/7$	$= 7/8 = 0{,}875$
$1/8$	$= 8/9 = 0{,}8888\ldots$
$1/9$	$= 9/10 = 0{,}9$
$1/10$	$= 10/11 = 0{,}90909\ldots$

Hiernach würde also der Theilstrich für jede der angegebenen Verjüngungen durch Anfertigung eines Transversalmafsstabes, der noch Tausendstel genau und Zehntausendstel durch Schätzung angiebt, für den Abstand der Spitzen = 1 sich ergeben. Da aber der auf der Platte d (Fig. 263.) vorhandene Indexstrich einen bestimmten Abstand a von dem Durchschnittspunkte der Achsen der Schenkel, d. h. von der Mitte des Zirkelkopfes hat, so wird zum Auftragen jedes Theilstrichs von der unteren Spitze des Zirkels jede der in dem Vorhergehenden angegebenen Mafsen noch um den in Theilen des Mafsstabes ausgedrückten Abstand a zu vermindern sein.

Gewöhnlich ist aufser der hier in Rede stehenden, mit Lines bezeichneten Theilung, auf dem anderen Schenkel des Zirkels für denselben Indexstrich i noch

eine zweite mit Circles bezeichnete Theilung vorhanden, welche zur Construction der in den Kreis beschriebenen regelmäfsigen Polygone von 6. 7. ... 20 Seiten dient, so dafs, wenn für eine bestimmte Einstellung der Abstand der unteren Zirkelspitzen den Halbmefser des Kreises darstellt, der Abstand der oberen Spitzen die Länge der Seite des dem Theilstriche entsprechenden eingeschriebenen regelmäfsigen Polygons angiebt.

Zur leichteren Feststellung der Theilstriche mit dem Index enthalten einige Reductionszirkel noch eine an der Seite der einen Stange angebrachte Mikrometerschraube als Stellschraube. (Siehe G. Adam's geometrische und graphische Versuche etc. Taf. III.)

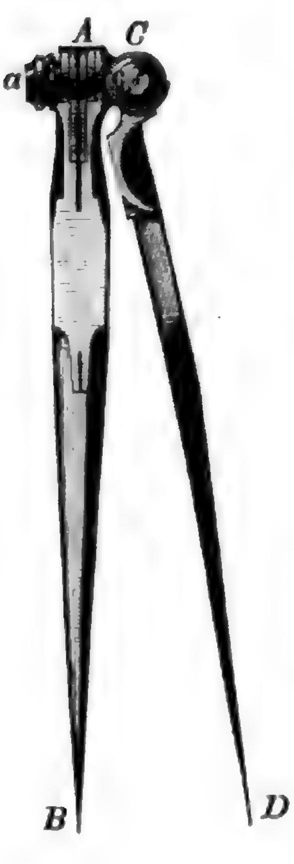
Bei dem Halbierungszirkel, der zur Halbierung der Linien dient und insofern als eine besondere Art des Reductionszirkels angesehen werden kann, trägt der Charnierkopf des Handzirkels in den Verlängerungen seiner Schenkel noch zwei Schenkel von halber Länge der ersteren.

§. 498.

6. Der dreifüfsige Zirkel.

Man bedient sich desselben vorzugsweise zum leichteren Auftragen der Dreiecke eines mit der Mefskette aufgenommenen Dreiecksnetzes, kann aber auch beim Copiieren der Pläne oft gute Dienste leisten. Zum Abtragen nicht grofser Dreiecke dient der in Fig. 264. dargestellte Zirkel, der aus einem fünf bis acht Zoll langen Handzirkel *AB* besteht, mit welchem noch ein dritter Schenkel *CD* so verbunden ist, dafs letzterer nicht allein in einem normal zum Charniere des Handzirkels stehenden Gewinde *C*, sondern auch um eine damit verbundene Achse *ac* sich drehen läfst. Hierdurch kann der dritte Schenkel in jede beliebige Stellung zu den Schenkeln des Handzirkels *AB* gebracht werden.

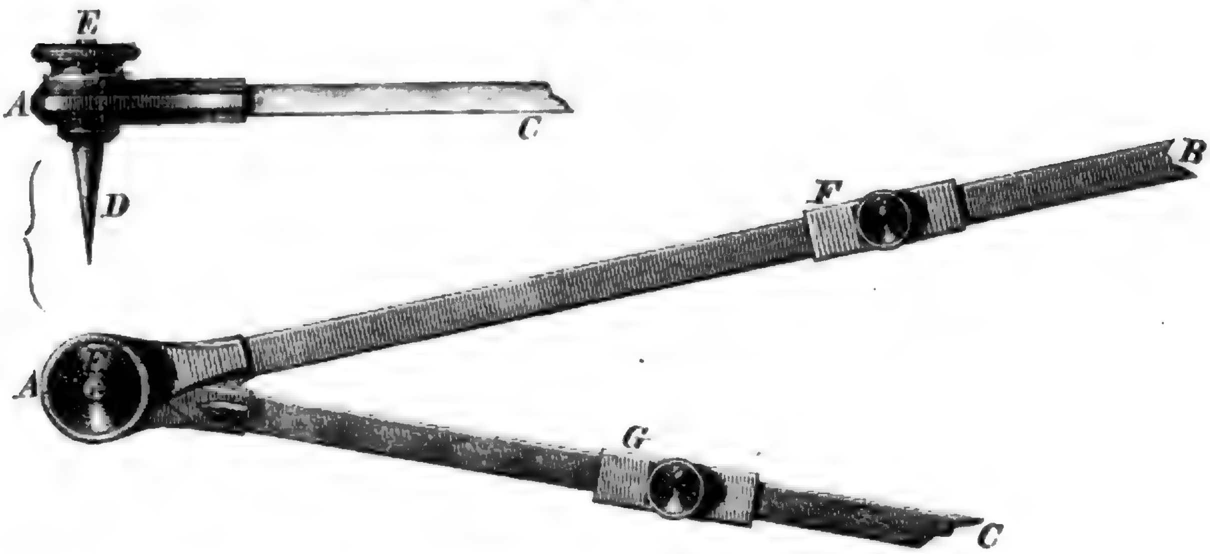
Fig. 264.



Für gröfsere Dreiecke ist der in Fig. 265. dargestellte Apparat geeigneter. Er besteht aus zwei prismatischen Stangen *AB*, *AC* von 10 bis 20 Zoll Länge, die in *A* durch ein Charnier verbunden sind. Unter letzterem befindet sich eine Stahlspitze *D*; durch eine Prefsschraube *E* können beide Stangen festgestellt werden. Längs derselben lafsen sich wie beim Stangenzirkel der Fig. 260. zwei mit Spitzen versehene Hülsen *F* und *G* verschieben und durch Druckschrauben *f* und *g* feststellen.

Wie man durch Hülfe dieser Zirkel ein durch seine Seitenlängen gegebenes Dreieck von einem Mafsstabe abnehmen und auf die Karte tragen kann, bedarf keiner weiteren Auseinandersetzung.

Fig. 265.



§. 499.

7. Die verjüngten Mafsstäbe.

In der praktischen Geometrie ist beim Entwerfen der Karten nur von den verjüngten Mafsstäben, auf welchen das Verhältnifs zwischen einer bestimmten Länge auf der Karte und dem entsprechenden natürlichen Mafse dargestellt ist, die Rede. Man drückt die Verjüngung meistens durch einen Stammbruch aus und bezieht sie direct auch nur auf die Länge, nicht aber auf die Fläche.

Da eine nach einem gröfseren verjüngten Mafsstabe entworfene Karte zwar eine genauere Bestimmung der einzelnen Mafsen zuläfst, so verliert sie doch auf der anderen Seite an Uebersichtlichkeit, weshalb man hinsichtlich der Wahl der Verjüngung im Allgemeinen das Princip befolgen mufs, den Mafsstab so klein zu wählen, als es der Zweck der Karte gestattet, so dafs aber auch der letztere allein die Gröfse der Verjüngung bestimmen mufs.

Uebrigens sind in verschiedenen Staaten die vorgeschriebenen Verjüngungen sehr verschieden; im Allgemeinen setzen dabei die älteren Vorschriften kleinere Verjüngungen fest, als die neueren, welcher Umstand nicht nur durch die Vervollkommnung der Mefsinstrumente, sondern auch der angewendeten Methoden des Mefsens sich erklärt. Folgende Verjüngungen sind etwa im Allgemeinen als mafsgebend anzusehen *).

Für Baurisse $\frac{1}{100}$, Durchschnitte $\frac{1}{50}$, Aufnahme von Bauplätzen $\frac{1}{200}$.

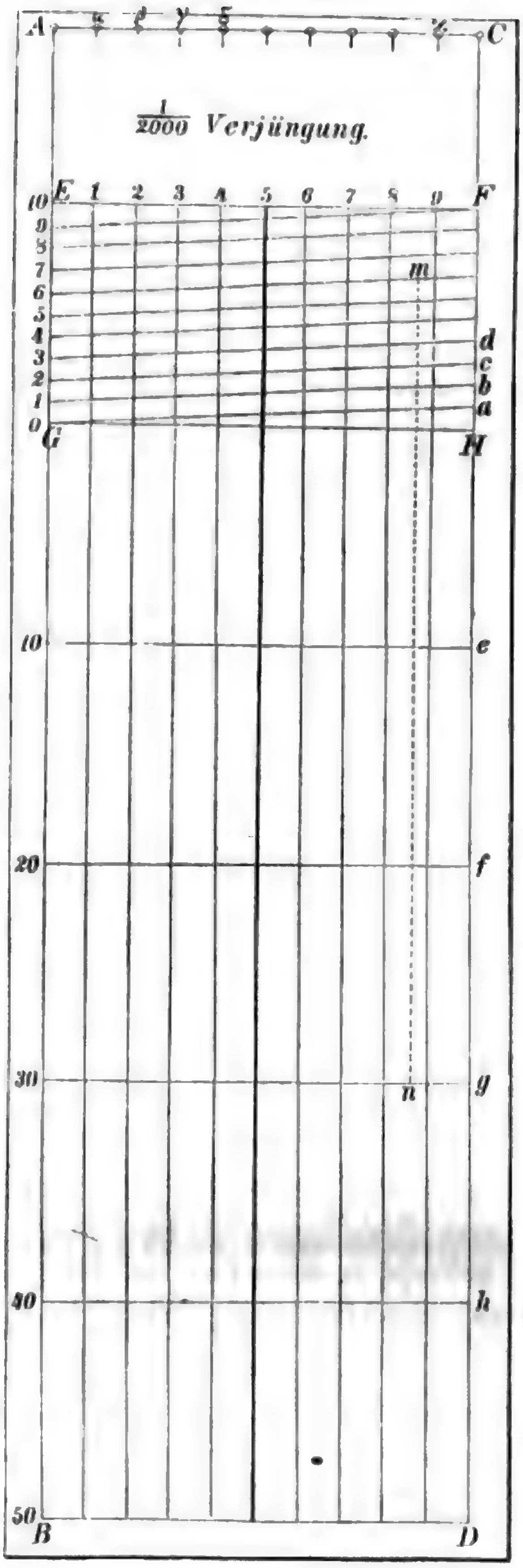
Für ökonomische Aufnahmen, bei welchen also die Bestimmung des Inhalts der Grundstücke und deren Theilung den Hauptzweck ausmacht, dienen $\frac{1}{1000}$ bis $\frac{1}{2300}$ **).

---

*) Vorlesungen über praktische Geometrie u. s. w. von G. Schreiber. Karlsruhe 1842. S. 102.

**) Beim Königlich Hannoverschen Landesökonomie-Collegium ist als gröfserer Mafsstab die Verjüngung $^1/_{2133}$, als kleinerer $^1/_{3200}$ festgesetzt, indem beziehungsweise 9 und 6 Hannoversche Zoll 100 Ruthen, für die 16füfsige Ruthe also 100 Ruthen 19200 Zoll darstellen.

Fig. 266.



Bei Forstaufnahmen für die Originalblätter $\frac{1}{5000}$, für Bestandeskarten $\frac{1}{10000}$, für Bodenkarten $\frac{1}{20000}$ und für grofse Uebersichtskarten $\frac{1}{10000}$ bis $\frac{1}{50000}$.

Für topographische Aufnahmen nach der verschiedenen Genauigkeit $\frac{1}{10000}$ bis $\frac{1}{40000}$.

Für militairische Recognoscierungen $\frac{1}{20000}$ bis $\frac{1}{30000}$.

Bei bergmännischen Aufnahmen für Grubenrisse $\frac{1}{100}$ bis $\frac{1}{700}$ und für Uebersichtspläne $\frac{1}{5000}$ bis $\frac{1}{10000}$.

§. 500.

Die **Construction verjüngter s.g. tausendtheiliger Mafsstäbe** wird am zweckmäfsigsten auf völlig ebenen Brettchen von gut ausgetrocknetem Birnbaumholz vorgenommen. Man errichtet zu diesem Zwecke in den Endpunkten einer geraden Linie AB (Fig. 266.), deren Länge etwas gröfser als die des Mafsstabes ist, die Normalen AC und BD, trägt auf sie 10 gleiche Theile $A\alpha$, $\alpha\beta$, $\beta\gamma \ldots \varkappa C$, und von B bis E die vom Muttermafs nach der vorgeschriebenen Verjüngung abgenommenen Länge, theilt dieselbe in so viel gleiche Theile, dafs die Länge eines Theiles z. B. 10 Ruthen gleichkommt und trägt diese Längen auch von D bis F ab. Durch α, β, $\gamma \ldots \varkappa$ zieht man von EF ab Parallelen, theilt ferner EG und FH ebenfalls in 10 gleiche Theile, zieht die Transversalen $0.a$, $1.b$, $2.c$, $3.d \ldots 9.F$, so wie auch

10 . *e*, 20 . *f* . . . und schreibt endlich den erhaltenen Theilpunkten die zugehörigen Ziffern bei.

Da nun die Längen 0 . 1, 1 . 2, 2 . 3 . . ., *Ha*, *ab* . . , einzelne Ruthen, die auf den erwähnten Parallelen zwischen der Transversale *oa* und der Linie *oH* liegenden Stücke demnach Zehntelruthen darstellen, von letzteren aber die Hundertstelruthen noch geschätzt werden können, so dürfte die Abnahme einer vorgeschriebenen Länge von dem Mafsstabe sich leicht ergeben. So stellt z. B. die zwischen *m* und *n* liegende Länge 46,87 Ruthen dar.

§. 501.

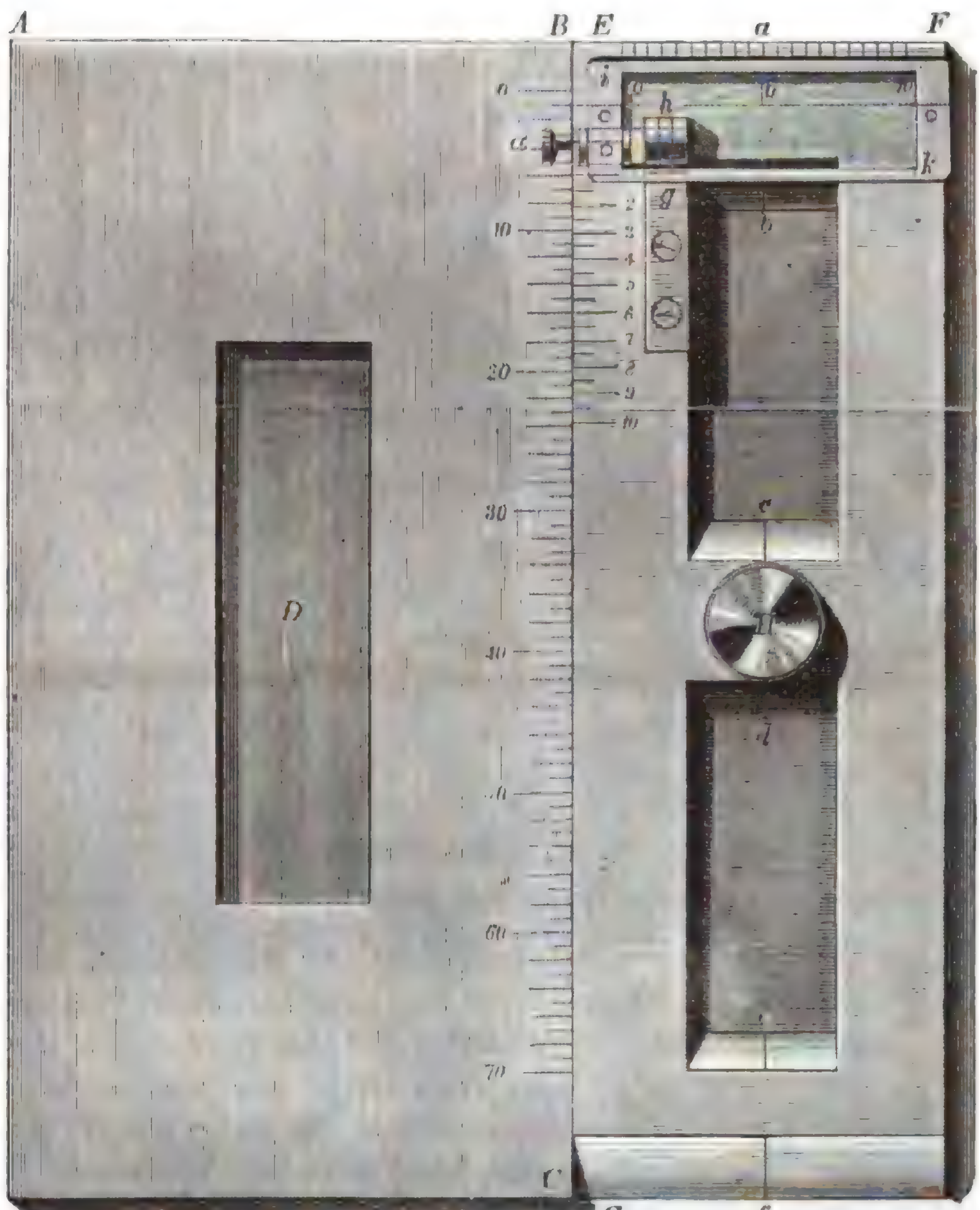
8. Der Ordinatograph.

Unter diesem Namen versteht man mehr oder weniger verschieden eingerichtete Zeichenapparate, mittelst welcher die bei der ökonomischen oder Kataster-Aufnahme gemefsenen Ordinaten durch ein einfaches Verfahren auf das Papier getragen werden können. In den Figg. 267. und 268. ist ein solcher in natürlicher Gröfse dargestellt.

ABC bezeichnet eine etwa 1 Linie starke Metallplatte, in der Mitte mit einem rechteckigen Ausschnitt *D* versehen und an deren einer längeren Seite *BC* entlang eine Rutheneintheilung nach einer bestimmten Verjüngung, hier nach $\frac{1}{3200}$ sich befindet. *EFG* stellt eine zweite mit zwei rechteckigen Ausschnitten versehene Metallplatte von der Dicke der ersteren vor, an welcher sie beliebig verschoben werden kann. An ihrer oberen linksliegenden Seite enthält sie eine Verniereintheilung, so dafs dadurch Zehntelruthen von der ersteren angegeben, Hundertstelruthen aber noch abgeschätzt werden können. Letztere Platte ist sowohl an ihren schmalen Seiten, als auch in den genannten Ausschnitten abgekantet und deren Mitte durch die Linie *a o b c d e f* bezeichnet. *H* ist ein Knopf zum Anfafsen für das Verschieben. Während durch die erwähnten Theilungen die Abscissen dargestellt werden, sind auf die abgeschrägte Ebene *EF* von dem Nullpunkte *a* aus nach beiden Seiten die Ordinaten bis auf Zehntelruthen und 10 Ruthen Länge verzeichnet. Zum befsern Erkennen der Theilungen findet sich auf der Platte *EFG* eine für jedes Auge verstellbare Loupe. Es ist nämlich auf derselben eine kleine Platte *g* (Fig. 268.) befestigt, an deren Ende ein Charnier *h* befindlich ist, von welchem ein eine Hülse tragender Arm γ ausgeht. In der Hülse läfst sich der Stift β, der an seinem oberen Ende in einem Mefsingrahmen *ik* die Loupe trägt, beliebig verschieben und durch das Druckschräubchen α feststellen.

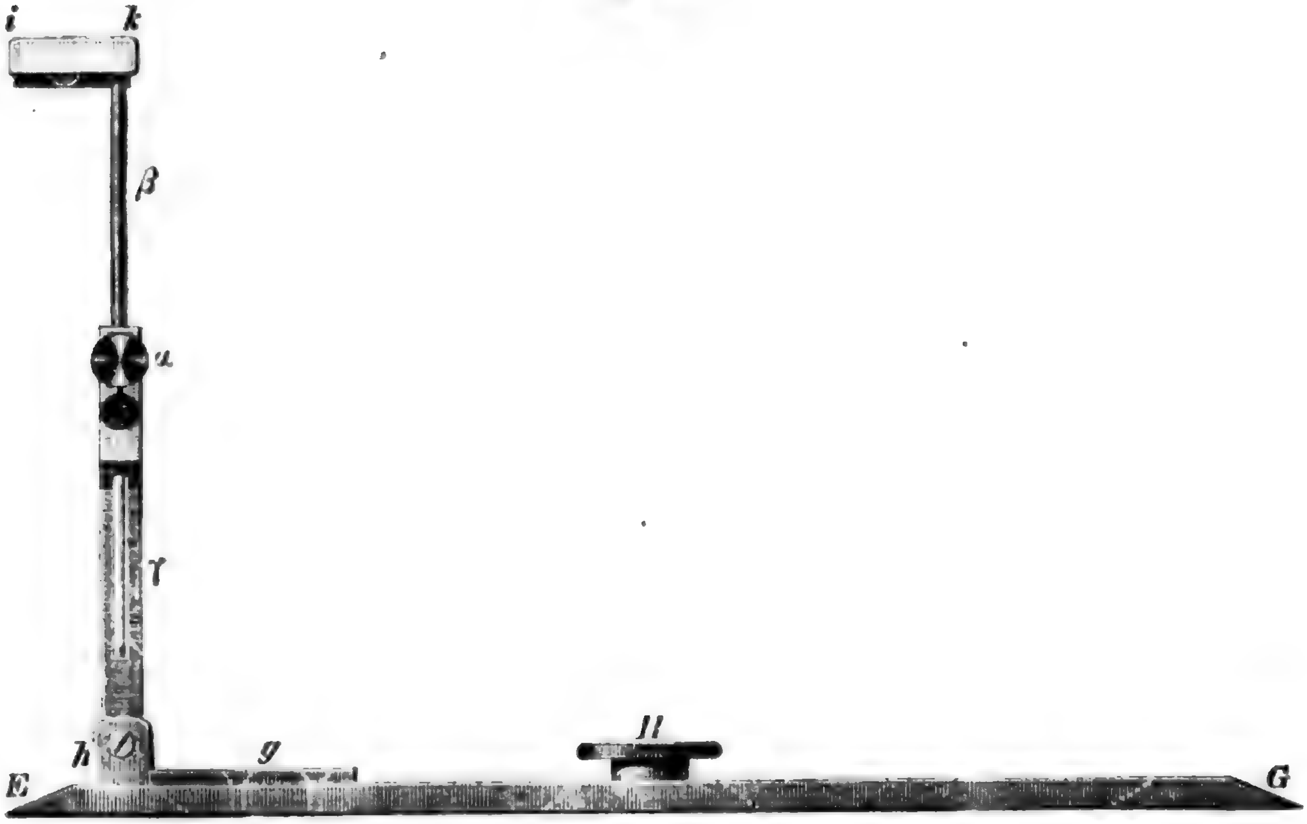
Der Gebrauch des Ordinatographen ist folgender: Man legt die kleinere Platte *EFG* so an die auf der Karte vorhandene Abscissenlinie, dafs ihr Nullpunkt mit dem Punkte *a* (Null) zusammenfällt, bringt darauf die Platte *ABC* so an jene, dafs auch ihr Nullpunkt mit dem Index des Verniers coincidiert und

Fig. 267.



stellt dann ABC durch ein darauf gelegtes Gewicht fest. Verschiebt man nun an ihr die kleinere Platte so weit, bis die erste, zweite, dritte ... Abscisse des Manuals von ihrem Indexstriche abgeschnitten wird, so kann man längs EF auf der entsprechenden Seite des Nullpunktes die zugehörige Ordinate mittelst eines beigegebenen Stifts durch ein kleines Löchelchen darstellen und durch einen kleinen Strich mit einer am anderen Ende vorhandenen Bleifeder kenntlich machen. Diese Arbeit setzt man bis zu 50 Ruthen der Abscissenachse fort und wiederholt dann das vorige Verfahren bis zum Ende der Abscissenachse.

Fig. 268.



§. 502.

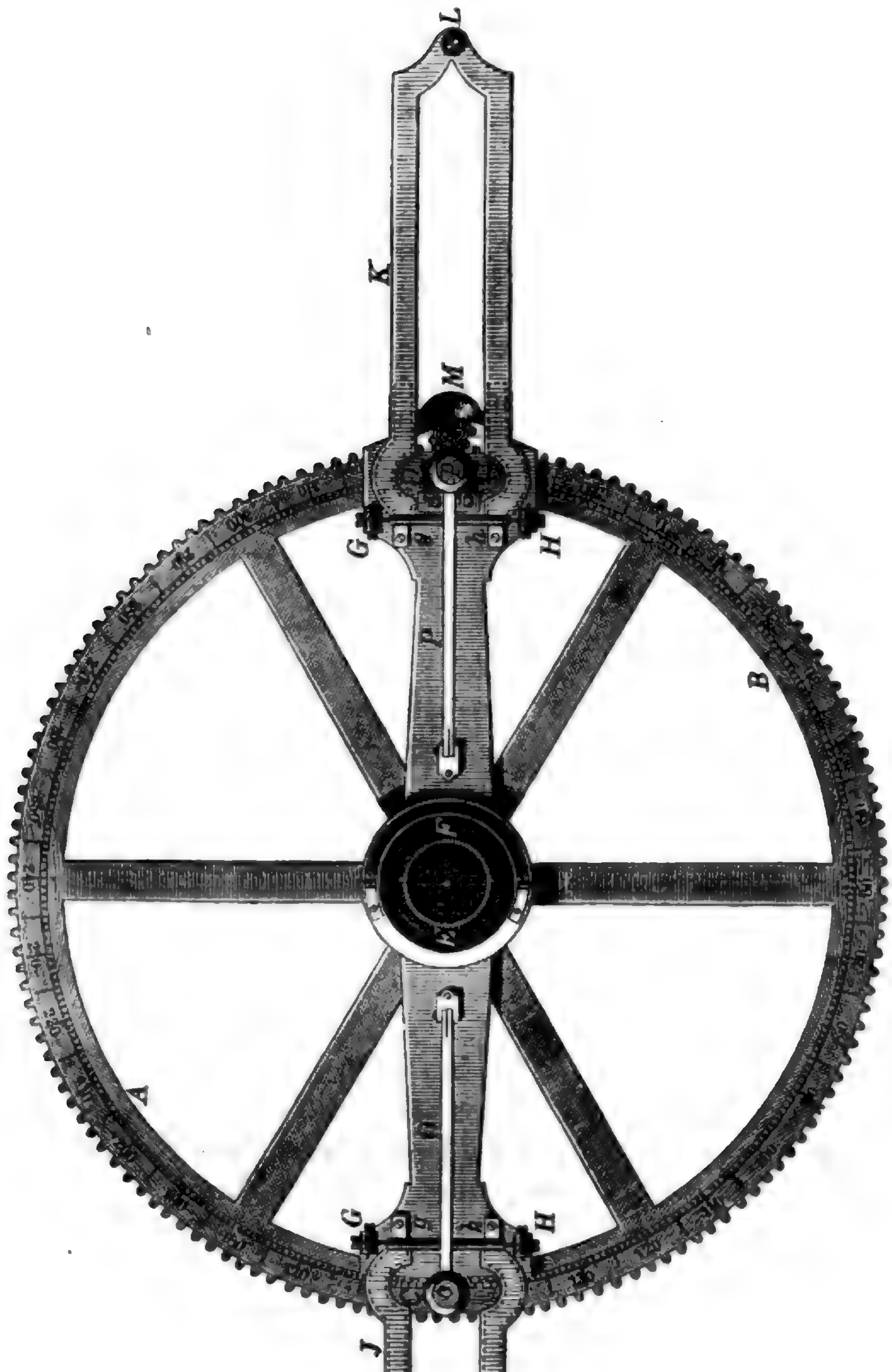
9. Der Transporteur.

a. Der vollkreisige Transporteur.

Wenn man die mit einem kleinen Theodolith oder einer nicht zum Zulegen eingerichteten Boussole gemefsenen Winkel einer kleineren, nach der Umziehungsmethode aufgenommenen, nicht übersichtlichen Flur ohne Coordinatenberechnung ihrer Eckpunkte sogleich auf die Karte tragen will, so kann man sich dazu mit Vortheil eines vollkreisigen Transporteurs bedienen. Ein solcher wird in Fig. 269. nach englischer Construction *) etwa im Drittel wahrer Gröfse dargestellt. *AB* bezeichnet den bis auf Sechstelgrade eingetheilten Kreisrand, über welchem die mit zwei Verniers versehene Alhidade *CD* concentrisch um einen kurzen ringförmigen Zapfen *EF* sich bewegen läfst. In der kreisförmig durchbrochenen Mitte des Werkzeugs liegt eine Glasplatte, auf welcher der Mittelpunkt der Theilung durch zwei auf einander normal stehende eingerifsene Linien bezeichnet ist. An jedem Ende der Alhidade stehen zwei Säulen *G*, *H*, zwischen denen um Schraubenspitzen die an der Umdrehungsachse befestigten dünnen und federnden Messingrahmen *J*, *K* durch ihr Aufschlagen auf die Papierebene und durch

*) Nach G. Adams. Siehe dessen geometrische und graphische Versuche Taf. XVII. Fig. 5.

Fig. 269.



Zurückschlagen auf die Werkzeugsebene sich niederlegen lafsen; für den ersteren Fall dienen den Rahmen die plattenförmigen Stahlfedern *g*, *h* zur Unterlage. Jedes Rahmenende trägt ein nach Unten in eine feine Spitze auslaufendes Schräubchen *L L*. Zur Bewegung der Alhidade greift in die Einschnitte des Kreisrandes ein mit einem Kopfe *M* versehenes Getriebe *N* und zum genaueren Ablesen der Theilung dienen zwei an den Armen *O* und *P* befestigte Loupen *o* und *p*.

Aufser der Prüfung der Richtigkeit der Theilung ist noch zu untersuchen, ob die Spitzen *L L* mit dem Mittelpunkte in einer geraden Linie liegen und mit der Indexlinie $0^0 . 180^0$ zusammenfallen, was man durch Auflegen des Apparats auf eine auf dem Papiere gezogene Gerade leicht erkennen kann. Eine etwa nöthige Verbefserung kann durch Verstellung der Umdrehungsachsen an den zugehörigen Schrauben leicht verbefsert werden.

Um mit dem Transporteur einen in der Gradabtheilung gegebenen Winkel auf dem Papiere zu verzeichnen, legt man ihn so auf den einen Winkelschenkel, dafs sein Mittelpunkt mit dem gegebenen Scheitelpunkte und die Indexlinie $0^0 . 180^0$ mit dem einen Schenkel zusammenfällt. Dann bewegt man mittelst des Getriebekopfs *M* die Alhidade so weit herum, bis die Verniers den gegebenen Winkel abschneiden, sticht die Spitzen *L L* sanft in das Papier und verbindet die entstandenen Punkte durch eine (durch den Scheitelpunkt gehende) gerade Linie.

Wie man durch Hülfe des Transporteurs die Gröfse eines auf dem Papiere gegebenen Winkels im Gradmafse bestimmen kann, ergiebt sich aus dem Vorhergehenden sehr leicht.

Anmerkung Eine andere Construction eines vollkreisigen, aber nur einen Vernier enthaltenden Transporteurs findet man in dem Magazin mathematischer Instrumente etc. von F. W. Breithaupt, III. Tafel 3.

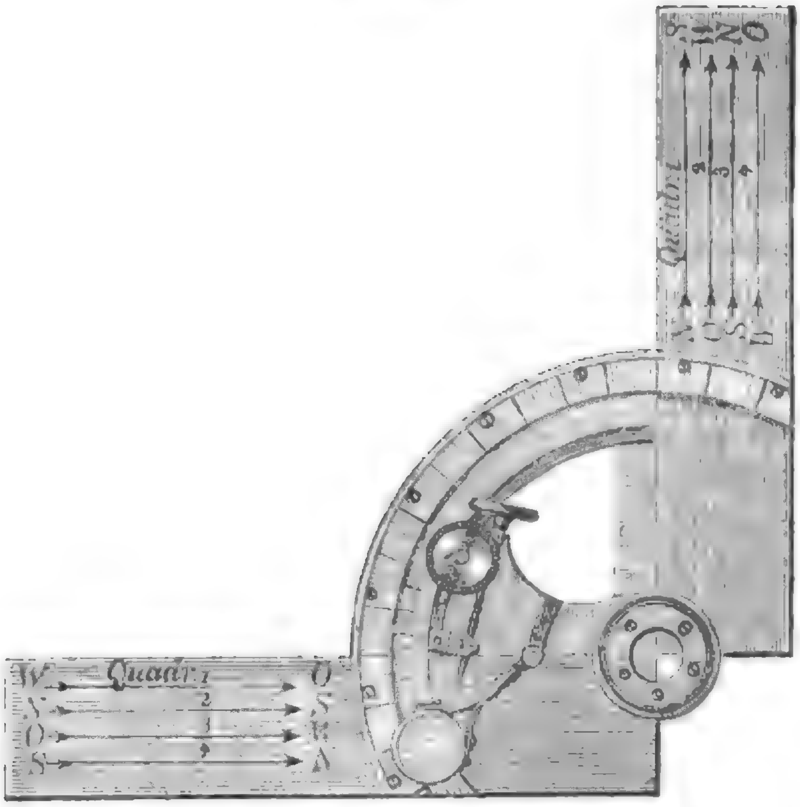
b. Der Quadranten-Transporteur mit zwei beweglichen Schenkeln.

§. 503.

Dieser vom Ober-Geometer Gattermann construierte, in Fig. 270. im Viertel wahrer Gröfse dargestellte Transporteur in Form eines Quadranten, mit zwei beweglichen Schenkeln, einem Mikrometerwerke und einer Loupe, der einer näheren Beschreibung nicht bedarf, soll dazu dienen, die bei Detail-Aufnahmen mit der Boussole gemefsenen oder abgeleiteten Azimuthalwinkel aufzutragen und daher das Zulegen mit der Boussole vertreten. Er findet sich abgebildet und beschrieben im Magazin mathematischer Instrumente u. s. w. von F. W. Breithaupt, Heft III. S. 31. u. f., welchem auch die obige Zeichnung und nachfolgende Anweisung zum Gebrauch entnommen ist.

Ist das in den gewöhnlichen Fällen zum Auftragen der aus dem trigonometrischen Dreiecknetze berechneten Coordinaten auf der Karte nöthige Quadratnetz nicht vorhanden, so mufs zur Anwendung des obigen Transporteurs doch

Fig. 270.



ein solches construiert werden, wobei die Gröfse der Quadratseite aber ganz beliebig ist. Die horizontalliegenden Parallelen desselben mögen die Richtungen der Ordinaten, die senkrecht stehenden also die Abscissenrichtungen bezeichnen. Es werde auch vorausgesetzt, dafs die Azimuthe von Norden aus über Osten nach Süden und Westen wachsend fortgehen.

Soll ein gegebener Winkel aufgetragen werden, so wird es durch den Raum und die Richtung des Winkels in den meisten Fällen bedingt, ob das Abgreifen eines Winkels, wobei selbstverständlich die Mikrometerschraube zur feinen Einstellung der Alhidade dient, von der Linken zur Rechten, oder umgekehrt geschehen mufs. In dem ersten Falle wird eine Kante des linksliegenden Lineals, also der Schenkel des Transporteurs an eine passende Ordinatenlinie unterhalb des Punktes, von welchem aus der Winkel gezeichnet werden soll, von Westen nach Osten angelegt und an dieser genau so lange nach Rechts oder Links verschoben, bis die äufsere, oder wegen des nöthigen Parallelismus beider Kanten, die innere Kante des rechtsliegenden Lineals den betreffenden Mittelpunkt schneidet. Dann zieht man mittelst der Bleifeder an dem Lineal entlang durch den Punkt der Schenkel in der erforderlichen Länge aus.

Geschieht aber das Abgreifen des Winkels von Rechts nach Links, so wird eine Kante des rechtsliegenden Lineals an eine passende Abscissenlinie von Oben nach Unten, also von Norden nach Süden, angelegt und an dieser der Schenkel des Transporteurs so weit verschoben, bis die äufsere Kante des linksliegenden Lineals den Winkelpunkt schneidet.

Für das Construieren der Winkel in den drei folgenden Quadranten ist das Verfahren im Allgemeinen dasselbe, nur mufs im 2ten Quadranten mit dem linksliegenden Schenkel von Norden nach Süden und mit dem rechtsliegenden von Osten nach Westen; im 3ten Quadranten beziehungsweise von Osten nach Westen und von Süden nach Norden und im 4ten Quadranten von Süden nach Norden und von Westen nach Osten angelegt werden.

Zur Vermeidung von Irrungen beim Anlegen des Transporteurs, sind auf jedem Schenkel die Richtungen mit Pfeilen und mit der Bezeichnung der Weltgegenden für jeden Quadranten verzeichnet.

Auch sind noch für das Anlegen des linksliegenden Schenkels die Grade für jeden Quadranten von der Linken zur Rechten auf dem Theilkreise beschrieben. Für das Anlegen des rechtsliegenden Schenkels dagegen ist, um eine Zahlenverwirrung zu vermeiden, blofs der 1ste Quadrant von der Rechten zur Linken beschrieben. Es mufs daher in diesem Falle beim Abgreifen des Winkels im 2ten, 3ten und 4ten Quadranten von dem gegebenen Winkel beziehungsweise 90°, 180° und 270° subtrahiert und dann der Rest nach der Beschreibung für den 1sten Quadranten abgegriffen werden.

Um bei der Verschiebung des Schenkels an der Ordinaten- oder Abscissenlinie den betreffenden Winkelpunkt mit dem zweiten Lineale sicher zu erhalten, räth der Erfinder an, an die Linie des Quadratnetzes der Karte, an welche der Transporteur gelegt werden soll, ein mit Bleistücken beschwertes Lineal zu legen.

§. 504.

Selbstverständlich können die mit dem Transporteur aufgetragenen Winkel nur dann den mit der Boussole vorausgesetzt richtigen Winkel darstellen, wenn sie centrisch zur Theilung des Transporteurs aufzutragen sind. Zu diesem Zwecke construiere man zwei genau auf einander normal stehende Linien, und lege an diese die Lineale des Transporteurs. Zeigt hierbei der Index des Verniers auf 0°, so ist dieser concentrisch.

Decken bei unveränderter Lage des linksliegenden Schenkels und bei voller Oeffnung des Transporteurs beide Lineale genau eine gerade Linie und zeigt dabei der Index des Verniers auf 90°, so liegt auch der Endpunkt des Quadranten concentrisch und in richtigem Abstande von seinem Nullpunkte. Ein Nichtvorhandensein von Theilungsfehlern wird sich dadurch leicht entdecken, wenn die gegebenen Azimuthalwinkel sowohl von der Ordinaten- als der richtig construierten Abscissenlinie ab aufgezeichnet werden und bei beiden Constructionen die Winkel als congruent erscheinen.

§. 505.

Unter dem Namen Celerigraph ist von dem französischen Geometer Hadot ein Zeichenapparat construiert, mit welchem auf eine sichere und zugleich rasche Weise (daher auch der obige Name) ein gegebener Winkel auf dem Papiere construiert werden kann. Er besteht aus 2 Paar Linealen A, A_1 und B, B_1, von welchen A_1 und B_1 beziehungsweise gegen A und B in paralleler Lage ihrer Kanten verschoben und durch Druckschrauben befestigt werden können. Mit B_1 ist ein halbkreisiger Transporteur verbunden, dessen Alhidade die Verlängerung von A_1 bildet. Zugleich ist A um einen durch den Mittelpunkt des Transporteurs gehenden Zapfen drehbar, wodurch also A (oder A_1) gegen B (oder B_1) um den gegebenen Winkel gedreht werden kann, zu welchem Zwecke die erwähnte Alhidade einen Vernier enthält. Durch die genannten Verschiebungen und die erwähnte Drehung des einen Doppellineals gegen das andere können also die an den Linealkanten gezogenen Linien zugleich durch einen auf dem Papiere gegebenen Punkt geführt werden. Da aber in der von Schneitler *) gegebenen Zeichnung und Beschreibung für die drehende Bewegung keine mikrometrische Einstellung sich findet, so dürfte der Apparat wohl nur dann geeignet sein, die Winkel eben so genau auf das Papier zu bringen, als sie gemefsen sind, wie es von demselben a. a. O. heifst, wenn von der Mefsung selbst nicht die gröfste Schärfe erwartet werden darf.

§. 506.

10. Der geradlinichte Transporteur.

Der geradlinichte Transporteur oder Sehnenmafsstab soll nur dazu dienen, im Gradmafs gegebene Winkel auf dem Papiere zu verzeichnen, wenn entweder jene nicht mit der erforderlichen Schärfe auf dem Felde gemefsen werden konnten, oder man mit einer nur annähernden Genauigkeit der Construction sich zufrieden stellen kann.

Schlägt man in den natürlichen trigonometrischen Tafeln die Sinus von $\frac{1}{2}^0$, 1^0, $1\frac{1}{2}^0$ . . . 45^0 auf, so giebt nach dem Ausdrucke $ch\ \varphi = 2 \sin \frac{1}{2} \varphi$ das Doppelte der erhaltenen Zahlenwerthe beziehungsweise die Sehne von 1^0, 2^0, 3^0 . . . 90^0 eines Kreises, dessen Halbmefser mit dem der trigonometrischen Functionen übereinstimmt. Setzt man diesen Halbmefser $= r$, so kann man die zu einem Bogen von n^0 zugehörige Sehne s des Halbmefsers r für einen anderen Kreishalbmefser ρ durch den Ausdruck $\sigma = \frac{s \cdot \rho}{r}$ berechnen. Dann entsteht für den Halbmefser 500 folgende Tafel.

*) Die Instrumente und Werkzeuge etc. 2. Aufl. S. 319.

Winkel Grad	Sehne	Winkel Grad	Sehne	Winkel Grad	Sehne
0	0	30	258,8	60	500,0
5	43,6	35	300,7	65	537,3
10	87,2	40	342,0	70	573,6
15	130,5	45	382,7	75	608,8
20	173,6	50	422,6	80	642,8
25	216,4	55	461,7	85	675,6
				90	707,1

Ein aus diesen Sehnen nach einem beliebigen tausendtheiligen Mafsstabe für die Winkel von 0^0 bis 90^0 zusammengesetzter Mafsstab wird dann ein geradlinichter Transporteur genannt; er wird also die Sehnen zwar um so gröfser geben, je geringer die Verjüngung des tausendtheiligen Mafsstabes ist, aber auch dafür an Bequemlichkeit verlieren. Bei dem in Fig. 271. dargestellten Transporteur ist die Verjüngung $\frac{1}{2000}$ (Fig. 266.) zum Grunde gelegt.

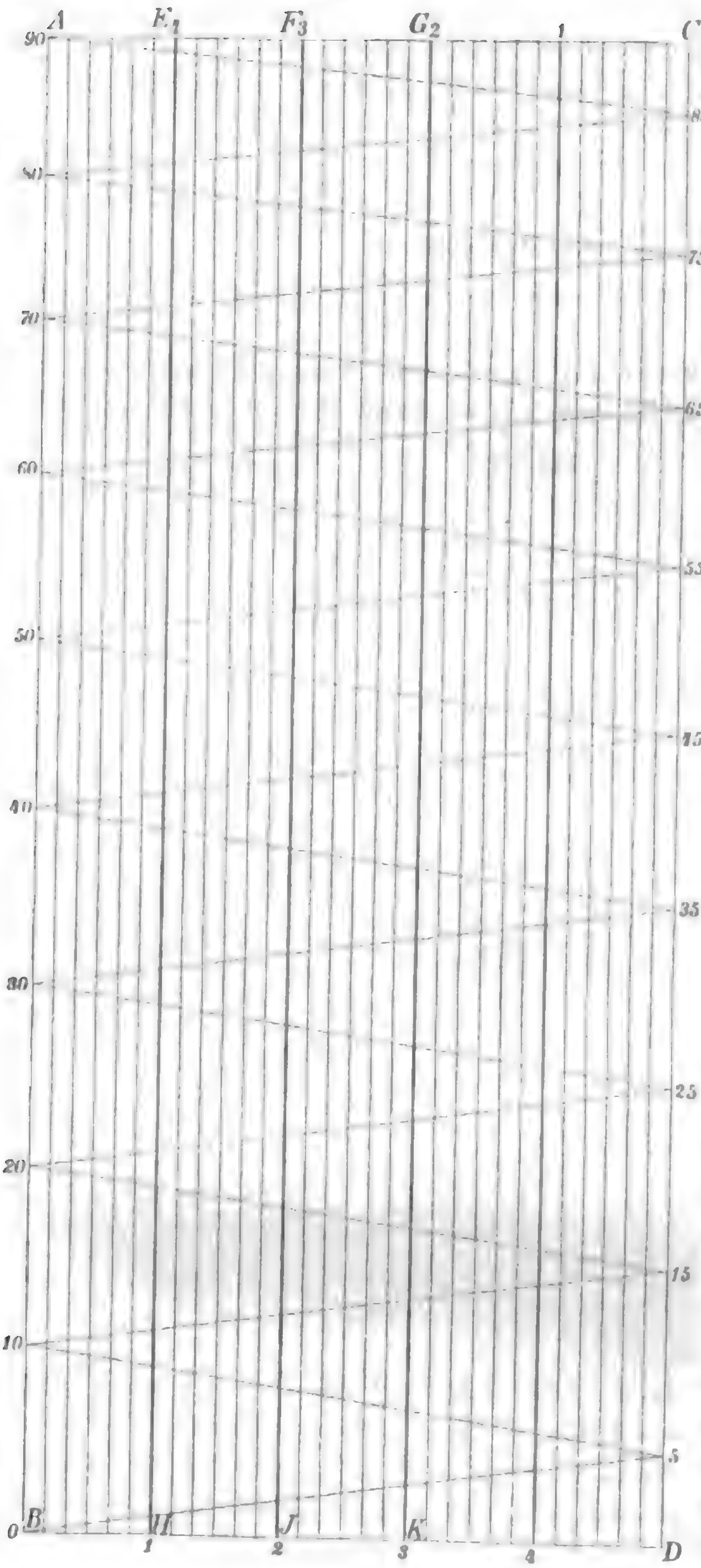
Um denselben zu construieren, ziehe man durch die Endpunkte der Linie AB die Normalen AC und BD und trage auf diese fünf gleiche Theile AE, EF, FG . . ., BH, HJ . . . von solcher Gröfse auf, dafs jeder derselben nochmals wenigstens in 6 gleiche Theile getheilt werden kann. Ferner trage man nach dem tausendtheiligen Mafsstabe nach der obigen Tabelle von B bis A die Sehnen von 10^0, 20^0, 30^0 . . . 90^0 und von D bis C die Sehnen von 5^0, 15^0, 25^0 . . . bis 85^0 auf und ziehe die Transversalen 0 . 5, 5 . 10, 10 . 15 . . . 85 . 90, so erhält man, nachdem durch E, F, G . . . Parallelen mit AB gezogen sind, die Längen der Sehnen von Grad zu Grad. Theilt man daher weiter jeden der Theile AE, EF . . . in 6 oder 12 gleiche Theile und zieht auch durch diese Theilpunkte Parallelen mit AB, so erhält man beziehungsweise die Sehnen der Winkel von 10 zu 10 oder von 5 zu 5 Minuten, so dafs also die Sehnen für die einzelnen Minuten nur durch Schätzung bestimmt werden können.

Anmerkung. Zur Construction des Transporteurs können die Sehnen von 5^0, 10^0, 15^0 . . . 90^0 auch von B und D ab auf die Linien BA und DC, und von A bis C 12 gleiche Theile getragen werden. Theilt man dann ferner die Längen 0 . 5, 5 . 10, 10 . 15 . . . 85 . 90 in 5 gleiche Theile, und zieht durch alle Theilpunkte parallele Transversalen von 0 der Linie BA bis zum ersten Theilpunkte der Linie DC u. s. w., und eben so durch die Theilpunkte der Linie AC Parallelen mit AB, so gestattet auch dieser Transporteur unmittelbar die Abnahme der Sehnen von 5 zu 5 Minuten, also auch durch Schätzung von Minute zu Minute.

§. 507.

Um nun mittelst des geradlinichten Transporteurs einen im Gradmafse gegebenen Winkel auf dem Papiere zu construieren, beschreibe man aus dem etwa

Fig. 271.



gegebenen Scheitel mit einem Halbmefser von 60° des Transporteurs einen Kreisbogen und trage in diesen von dem Durchschnittspunkte desselben mit dem gegebenen oder willkürlich genommenen Schenkel die von dem Transporteur abgenommene zugehörige Sehne, so erhält man dadurch den zweiten Endpunkt des zweiten Winkelschenkels.

Ist der gegebene Winkel ein stumpfer oder überstumpfer, so hat man selbstverständlich die Ergänzung desselben zu 90°, 180° oder 270° abzugreifen und diesen dann an 90°, 180°, 270° anzutragen.

Das umgekehrte Verfahren zur Bestimmung der Gröfse eines auf dem Papiere construierten Winkels ergiebt sich hiernach sehr leicht.

II. Die zur Copierung der Karten dienenden Instrumente und ihr Gebrauch.

§. 508.

Obgleich beim Copieren einer Karte entweder derselbe Mafsstab beibehalten werden soll oder ein kleinerer vorgeschrieben ist, von Vergröfserungen aber wegen der dadurch

zunehmenden Gröfse der Fehler wohl keine Rede sein kann; so wendet man doch nur bei den Verjüngungen unter dem Namen der Storchschnäbel oder Pantographen *) eigene Werkzeuge an, während in dem ersteren Falle die Copierung durch Durchzeichnen oder Durchpausen mittelst transparenten Papiers oder durch Quadratnetze geschieht.

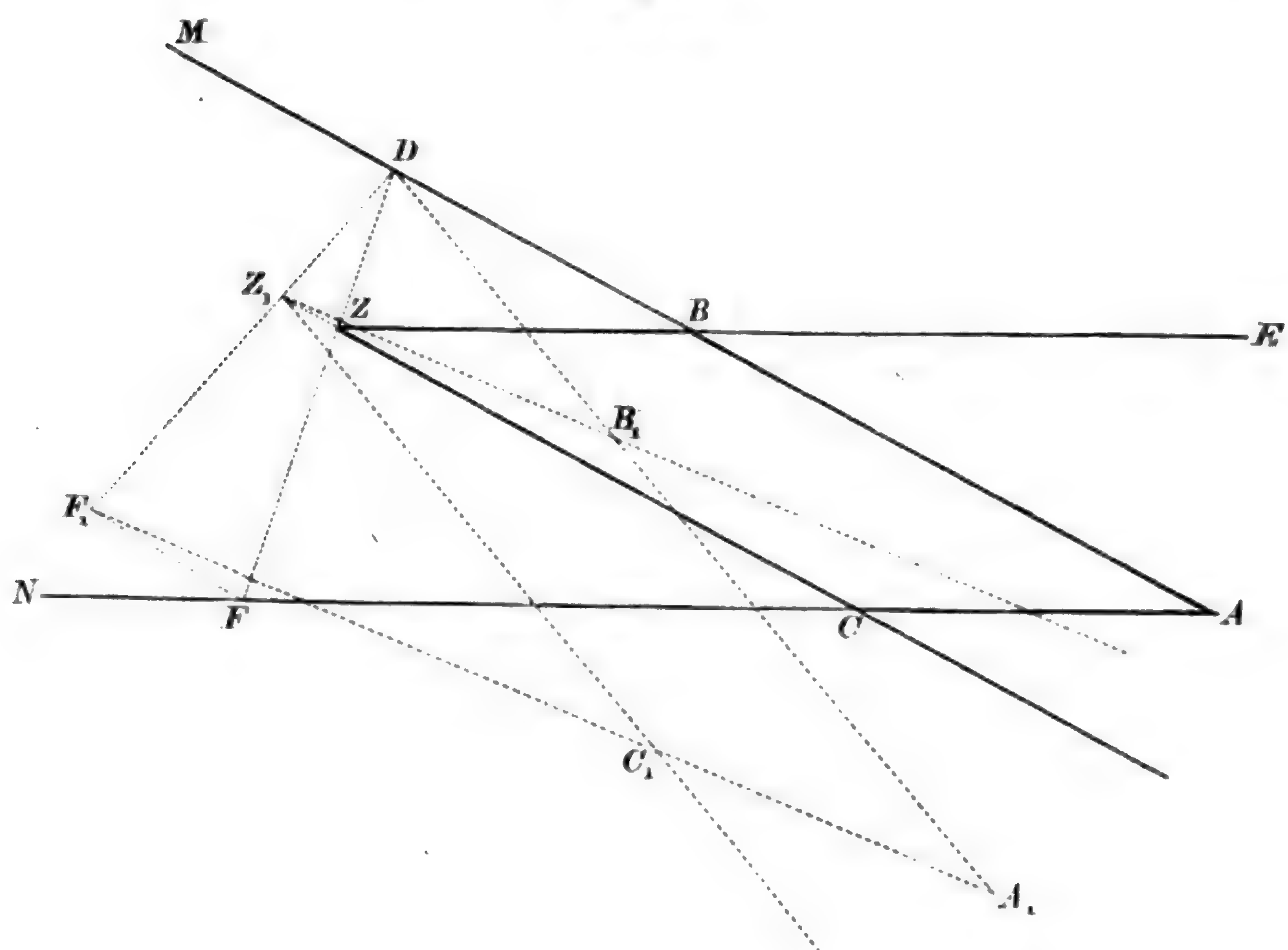
§. 509.

1. Der ältere Pantograph.

Die Construction und der Gebrauch des älteren Pantographen beruht auf folgenden Betrachtungen.

In Fig. 272. seien *A M* und *A N* zwei gerade Linien, mit welchen zwei andere *Z E* und *Z F* so verbunden sind, dafs die Theile *A B*, *A C*, *Z B* und *Z C*

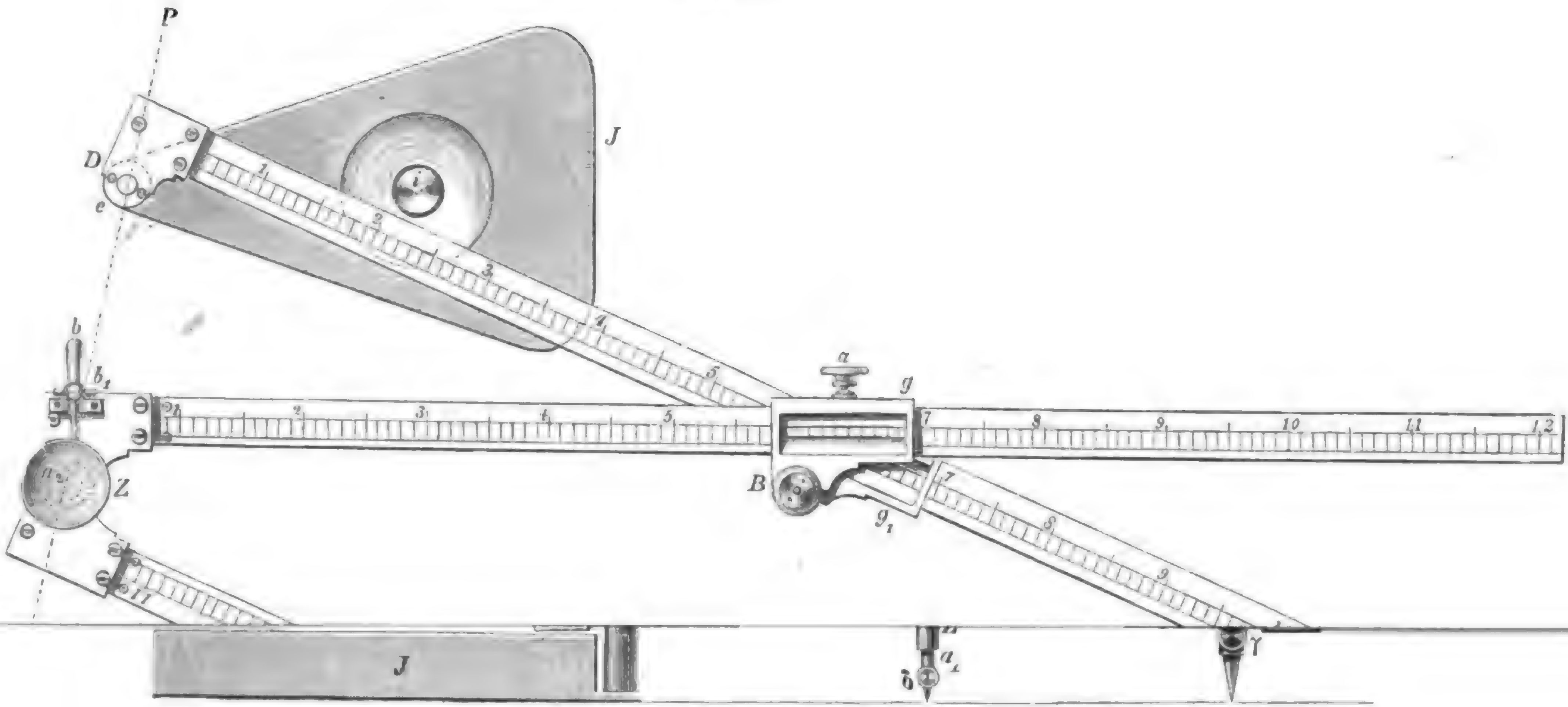
Fig. 272.



ein Parallelogramm bilden. In der Linie *A M* sei *D* ein unverrückbarer Punkt, um welchen das Parallelogramm drehbar ist, *F* ein beliebiger Punkt der Geraden *A N*, aber *Z* liege in der Verbindungslinie *D F*. Während also der Winkel *M A N* sich beliebig vergröfsert oder verkleinert, wird bei der Drehung des Linien-

*) Von πάν, παντος ganz, all und γραφειν, schreiben, also ein Allschreiber, Allzeichner.

Fig. 273.



systems um D jeder Punkt desselben seine Lage nur in sofern ändern können, als $ABCZ$ ein Parallelogramm bleibt. Kommt nun bei dieser Drehung um einen bestimmten Winkel der Punkt F nach F_1, und Z nach Z_1, so bleibt Z_1 immer in der Verbindungslinie von D und F und es findet die Proportion Statt:

$$ZZ_1 : FF_1 = DB : DA.$$

Denn construiert man das Liniensystem in seiner durch die Drehung um D entsandenen Lage, so kommt A nach A_1, B nach B_1 und C nach C_1. Da nun nach der Voraussetzung

$$BD : BZ = AD : AF,$$

aber $BD = B_1D$, $BZ = B_1Z_1$, $AD = A_1D$ und $AF = A_1F_1$ ist,

so ist auch $B_1D : B_1Z_1 = A_1D : A_1F_1$,

und da ferner $DB_1Z = DA_1F_1$ ist,

so ist $\Delta\, B_1DZ_1 \sim \Delta\, A_1DF_1$,

folglich auch $B_1DZ_1 = A_1DF_1$.

Da nun diese beiden Winkel den gemeinschaftlichen Scheitel D haben, nach der Voraussetzung aber die Punkte D, Z und F in einer Geraden liegen, so werden auch D, Z_1 und F_1 in einer Geraden liegen müfsen.

Da ferner $DZ : DF = BZ : AF$

und auch $DZ_1 : DF_1 = B_1Z_1 : A_1F_1$,

aber $BZ = B_1Z_1$ und $AF = A_1F_1$ ist,

so ist $DZ : DF = DZ_1 : DF_1$,

folglich auch $\Delta\, DZZ_1 \sim \Delta\, DFF_1$

und daher $Z_1Z \ddagger F_1F$,

so wie $ZZ_1 : FF_1 = DZ : DF = DB : DA$.

Führt man demnach den Punkt F auf dem Umfange einer Figur herum, so wird Z eine ihr ähnliche Figur darstellen. Findet mithin zwischen DB und DA ein vorgeschriebenes oder gegebenes Verhältnifs Statt, nämlich

$$DA : DB = n : 1,$$

so wird auch $DF : DZ = n : 1$

und umgekehrt.

Für ein gegebenes Verjüngungsverhältnifs $n : 1$ werden daher die Punkte B und C so in den Linien AM und AN zu bestimmen sein, dafs

$$DB = \frac{DA}{n} = \frac{a}{n}$$

ist, wenn durch a die Länge von DA bezeichnet wird; alsdann wird $ZZ_1 = \frac{1}{n} FF_1$ sein.

§. 510.

Auf den im vorigen Paragraphen angegebenen Sätzen beruht die Construction und der Gebrauch des in den Figg. 273. bis 275. im Drittel wahrer Gröfse dargestellten Pantographen. Fig. 273. zeigt seinen Grundrifs, Fig. 274.

die Seitenansicht und Fig. 275. die Vorderansicht durch die Linie PQ. Er besteht aus zwei Paar Armen (Stäben) von Holz oder Metall, AD und AF, ZE und ZG, welche in A und Z mit festen, in den Berührungsstellen B und C mit beweglichen Charnieren versehen sind.

Die Arme des in Rede stehenden Pantographen sind von Holz.

Den beweglichen Charnieren kann durch ihre daran befestigten ausgeschnittenen Schieber g, g_1, h und h_1 eine solche Stellung gegeben werden, dafs die Arme das Parallelogramm $ABCZ$ bilden. Durch vier Druckschrauben α, α_1, β und β_1 können die Arme in den Schiebern festgestellt werden. Die Fafsung an D trägt bei e eine cylindrische Hülse, welche sich mit dem Pantograph um einen auf dem hinlänglich schweren Bleistück J befindlichen Zapfen drehen läfst. Eine sphärische Aushöhlung der oberen Fläche des Bleistücks hat einen Knopf i zum Anfafsen. An dem Charnier Z ist eine cylindrische Hülse a zur Aufnahme des Zeichenstifts vorhanden, welcher aus einer dermafsen zugespitzten Bleifeder besteht, dafs ihre scharfe Spitze genau in der senkrechten Achse ihrer Hülse a_1 liegt. Durch das Druckschräubchen δ wird die Bleifeder in der richtigen Höhe befestigt. Hierzu läuft a_1 nach Oben in eine hohle Halbkugel a_2 aus, in welche vor dem Zeichnen so viel Schrotkörner gelegt werden, dafs die Spitze der Bleifeder das Papier berührt. Soll das letztere nicht geschehen, so wird (Fig. 275.) der vordere Arm des Hebels b, mit welchem er unter einen in der Hülse a_1 befestigten und aus a hervortretenden Stift fafst, also auch der Zeichenstift gehoben und kann dann letzterer durch Anziehen des Stellschräubchens b_1 in dieser Lage erhalten werden. Die an F befindliche Fafsung trägt wiederum eine Hülse zur Aufnahme des aus Elfenbein verfertigten zugespitzten Führers f, der in der Hülse durch das Druckschräubchen γ so befestigt werden kann, dafs seine Spitze das Papier berührt. Nach dem vorigen Paragraphen müfsen die Achsen des Zapfens bei D, des Zeichenstiftes und des Führers in derselben Verticalebene liegen.

Jeder der vier Arme enthält eine Eintheilung in 120 gleiche Theile (10 . 12 Zoll), in einer in der Zeichnung angegebenen Ziffernfolge. Mit den bei B und C sich befindenden Schiebern sind zum genauen Einstellen der Arme nach dem vorgeschriebenen Verjüngungsverhältnifs, noch Verniers angebracht, welche noch Zehntel der vorhin erwähnten Theile angeben. Endlich ruhen die vier Arme noch auf drei kleinen Laufrollen r, r_1, r_2 und auf einer bei F angebrachten Säule s.

§. 511.

Der Gebrauch des Pantographen zum Copieren der Karten erklärt sich zwar schon aus seiner Construction und der im §. 509. gegebenen Theorie im Allgemeinen leicht, indessen dürften doch folgende Bemerkungen nicht überflüfsig sein.

Zunächst sind nach dem gegebenen Verjüngungsverhältnifs die Schieber mit ihren Verniers an der richtigen Stelle der Arme zu befestigen, welches aus dem

Ausdruck des §. 509.

$$D\,B = \frac{a}{n}$$

sich ergiebt. Sollte also z. B. eine gegebene Karte auf $\frac{1}{4}$ ihrer Fläche, also auf $\frac{1}{2}$ nach den Liniengröfsen oder nach 2:1 verjüngt werden, so ist der Index jedes Verniers auf $\frac{120}{2} = 60$ zu stellen. Wäre ferner die Originalkarte, deren Mafsstab 100 Ruthen auf 9 Zoll enthält, so zu verkleinern, dafs 250 Ruthen auf 9 Zoll gehen, so ist $n = \frac{25}{10} = \frac{5}{2}$, also $D\,B = \frac{120}{\frac{5}{2}} = 48$, jeder Index mithin auf 48 zu stellen.

Dann ist zum Copieren ein hinlänglich grofser Tisch von etwa 6 Fufs Länge und Breite zu wählen, dessen Mitte etwa zum Drehungspunkt D genommen wird. Die auf dem Tische ausgebreitete Originalkarte mag zunächst nur eine solche Gröfse haben, dafs von dem Führungsstift des Pantographen die äufsersten Grenzen derselben erreicht werden können.

Dann verwende man eine besondere Sorgfalt auf die Lage der Spitze des Zeichenstifts, dafs nämlich die in die Hülse a_1 (Fig. 275.) geschobene Bleifeder nicht allein genau centrisch zugespitzt ist, sondern auch die Spitze in der Achse der Hülse liegt. Man erfährt letzteres, wenn bei einer Drehung der Bleifeder in ihrer Hülse, nachdem man in die Schale a_2 die erforderlichen Hagelkörner gelegt hat, die Spitze stets auf demselben Punkte bleibt.

Man fafse nun die Grenzen der Originalkarte mit einem Rechteck ein und verschiebe das mit einer glatten Oberfläche versehene Papier für die Copie auf dem Tische so lange, bis drei Eckpunkte des nach der gegebenen Verjüngung auf demselben construierten Rechtecks von dem Zeichenstift getroffen werden, wenn der Führungsstift auf die correspondierenden Punkte des Originals gebracht wird. In dieser Lage befestige man nun mit Sorgfalt sowohl das vollkommen glatt aufgelegte Original, als das eben so ausgebreitete Blatt für die Copie.

Führt man nun den Führer sorgfältig auf den Begrenzungen aller Parcellen der Originalkarte herum, so wird der gleichmäfsig fortgleitende Zeichenstift die verlangte Copie geben. Soll während der Bewegungen des Führers der Zeichenstift aufser Thätigkeit gesetzt werden, so wird mittelst des Hebels a der Zeichenstift so lange von dem Papiere abgehoben. Von Zeit zu Zeit wird auch untersucht, ob während des Zeichnens sowohl der Drehungspunkt D als das Zeichenpapier ihre anfängliche Lage unveränderlich beibehalten haben, was durch Einstellen auf die Eckpunkte des umzogenen Rechtecks mit Leichtigkeit geprüft werden kann.

Hat aber die Originalkarte eine solche Gröfse, dafs der Führer des festgelegten Pantographen nicht alle Begrenzungen erreichen kann, so theilt man das umfafsende grofse Rechteck in so viel kleinere, dafs jedes derselben nach dem im Vorhergehenden angegebenen Verfahren zur Copie benutzt werden kann und construiert die ähnlichen Rechtecke auch auf dem Blatte für die Copie. Nach

der Copierung der Parcellen jedes einzelnen derselben ist dann das Original und die Copie nach den construierten Linien so entsprechend zu verschieben, dafs die Fortsetzung sich genau an den bereits copierten Theil anschliefst. Zweckmäfsig ist es, wenn aufser den erwähnten Rechtecken auch noch andere Linien auf dem Original und der Copie vor jeder Verschiebung gezogen werden, welche bei der Fortsetzung der Operation zum genauen Anschlufs benutzt werden können.

Anmerkung. Werden in dem beschriebenen Pantographen der Drehungspunkt D und der Zeichenstift Z gegenseitig vertauscht, so findet nur der Unterschied Statt, dafs während man mit dem Führer den Umfang der Originalfigur umfährt, die durch den Zeichenstift entstandene Figur die entgegengesetzte Lage von der auf dem Original hat. Auch ist dann das Verjüngungsverhältnifs nicht durch $DF : DZ$ (Fig. 272.), sondern durch $ZF : ZD$ dargestellt.

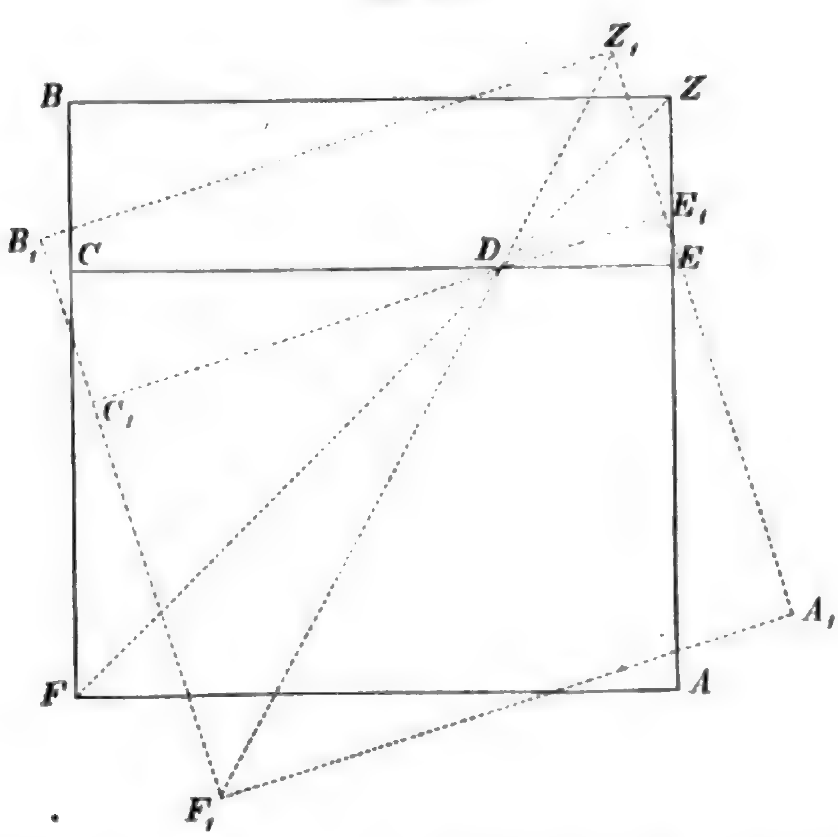
§. 512.

2. Der Mailänder Pantograph.*)

Die Theorie dieses Pantographen neuerer Art ist folgende.

Es seien in Fig. 276. vier gerade Linien zu einem gleichseitigen Parallelogramm $AZBF$ verbunden, eine fünfte CE sei parallel zu BZ und FA. Diefs

Fig. 276.



System von Linien läfst sich wieder in den Endpunkten der Geraden drehen und hat in dem Durchschnittspunkte D der Linie CE und der Diagonale FZ des

*) Derselbe ist nach vorangeschickter Theorie beschrieben und dargestellt in dem Handbuch der niederen Geodäsie von F. Hartner, Wien, 1850. S. 460, welchem Werke ich, da der Apparat selbst mir nicht zu Gebote steht, in dem Nachfolgenden gefolgt bin.

Parallelogramms seinen Drehungspunkt, während F als Führer und Z als Zeichenstift angesehen werden mag. Rückt nun bei der Bewegung des Liniensytems der Punkt F nach F_1, so werden mit ihm auch die anderen drei Eckpunkte wieder ein Parallelogramm $A_1 Z_1 B_1 E_1$ darstellen, so dafs, wie bei dem vorigen Pantographen, auch Z_1 wieder in der Verbindungslinie von F_1 und D liegen und $Z_1 Z$ parallel zu $F F_1$ sein wird. Es findet daher auch wieder die Proportion Statt

$$Z Z_1 : F F_1 = D Z : D F = E Z : E A.$$

Es stellt mithin auch $Z Z_1$ die Copie eines Zuges in dem Verhältnifs $E Z : E A$ vor, welcher von dem Führer F auf der Originalkarte durch $F F_1$ beschrieben wurde.

Ist also $$Z Z_1 : F F_1 = n : 1,$$
so ist auch $$E Z : E A = n : 1$$
oder $$E Z + E A : E Z = n + 1 : n,$$
folglich, da $$E Z + E A = Z A$$
$$E Z = \frac{n}{n+1} Z A.$$

Aus der Aehnlichkeit der Dreiecke $Z D E$ und $Z F A$ und der Gleichheit der Linien $D E$ und $E Z$ folgt aber auch

$$D E = E Z = \frac{n}{n+1} Z A.$$

Setzt man nun $n = 1, \frac{1}{2}, \frac{1}{3} \ldots$ d. h. soll die Copie dem Original gleich sein, oder dessen Hälfte, Drittel ... betragen, so ist

$$D E = E Z = \frac{Z A}{2}, \quad \frac{Z A}{3}, \quad \frac{Z A}{4} \text{ u. s. f.}$$

§. 513.

Nach den im vorigen Paragraphen angegebenen Principien ergiebt sich nun auch die Construction und der Gebrauch des Pantographen sehr leicht. Die Linien $A Z$, $Z B$, $B F$, $F A$ und $E E$ werden durch Lineale vertreten, von denen die ersteren vier in A, Z, B und F durch Charniere verbunden sind, während das Lineal $C E$ an seinen Enden Schieber mit Verniers trägt, die auf $Z A$ und und $B F$ verschoben werden können. Aber auch bei D ist eine mit einem festen, unverrückbaren Dorn versehene Hülse angebracht. Auf den Armen $B F$, $Z A$ und $C E$ finden sich übereinstimmende Theilungen, so dafs nach ihnen und dem gegebenen Verjüngungsverhältnifs die Schieber auf die correspondierenden Theilungspunkte gebracht und durch Druckschräubchen festgestellt werden können. Auch die Arme laufen hier, wie beim älteren Pantographen auf Rollen, so wie der Dorn des bei D liegenden Schiebers in ein hinreichend beschwertes Bleistück greift. Endlich ist die Einrichtung der Hülsen für den Führer und den Zeichenstift und für die Hebung und Herablafsung des letzteren analog der bei

dem älteren Pantographen, so wie auch der Gebrauch beim Copieren derselbe ist.

III. Instrumente zur Berechnung des Flächeninhalts gegebener ebener Figuren.

§. 514.

Die Berechnung des Flächeninhalts aufgenommener Fluren kann entweder aus den auf dem Felde gemessenen Stücken vorgenommen werden, oder sie setzt die auf die Karte getragene Horizontalprojection der Flur voraus, in welchem letzteren Falle dann zur Bestimmung des Inhalts der ebenen Figuren die Lehre der reinen Geometrie unmittelbar ihre Anwendung findet. So lange nun die gegebene ebene Figur blofs von geraden Linien oder von einfachen Curven, deren Gesetz bekannt ist, begrenzt wird, kann die Bestimmung ihres Inhalts im Allgemeinen immer auf bekannte einfache Weise ausgeführt werden. Bei krummlinichten Begrenzungen aber, bei denen kein Gesetz erkannt werden kann, ist man nur auf ein Näherungsverfahren angewiesen und wenn die zu berechnenden Parcellen in grofser Zahl vorhanden sind, wird die Arbeit nicht allein ermüdender, sondern verlangt auch einen nicht geringen Zeitaufwand.

Man war deshalb schon längst darauf bedacht, durch die Anwendung mechanischer Hülfsmittel die Berechnung des Inhaltes möglichst zu vereinfachen und zu erleichtern, und da besonders während der letzteren Decennien wegen der fast in allen Ländern ausgeführten Landes-Kataster- und ökonomischen Aufnahmen, der ausgedehnten Strafsen- und Eisenbahnanlagen u. s. w., die Inhaltsbestimmungen ebener Figuren mehr als je gefordert werden, so haben auch besonders die letzteren Decennien einen nicht geringen Reichthum an der Erfindung mechanischer Vorrichtungen zur Inhaltsbestimmung aufzuweisen, welche man allgemein mit dem Namen der Planimeter belegt. Man kann besonders zwei Hauptarten derselben von einander unterscheiden. Die eine Art läfst den Inhalt der gegebenen Figuren direct durch die Kenntnifs einer durch dieselben gegebenen Flächengröfse mittelst Anwendung eines mehr oder weniger mechanischen Verfahrens erkennen und fordert nur die Bekanntschaft der Gesetze der Elementar-Geometrie. Durch die Planimeter der zweiten Art aber wird der Inhalt einer ebenen Figur blofs durch Umfahren ihres Umfanges mit der Spitze eines Führers bestimmt und stützt sich der Gebrauch derselben eigentlich auf die Kenntnifs des Infinitesimal-Calculs. Diese letztere Art gewährt auch nur allein die geforderte Genauigkeit.

Der grofsen Zahl der jetzt bekannten Planimeter wegen, kann hier aber keine Beschreibung und Gebrauchsanweisung aller erwartet, sondern sollen nur diejenigen von ihnen betrachtet werden, die mehr oder weniger in allgemeinen Gebrauch gekommen sind oder doch früher vielfach angewandt wurden.

§. 515.

1. Der Glasplanimeter.

Dieser zuerst von Hogrewe vorgeschlagene Planimeter besteht aus einem Netze von kleinen Quadraten, das auf einem ebenen, vollkommen reinen Planglase oder auf einer dünnen Hornplatte verzeichnet ist. Man legt dasselbe auf die zu bestimmende Figur und zählt die Anzahl der Quadrate ab, welche die Figur bedeckt; einzelne Quadrattheile werden nach dem Augenmafse geschätzt und zum Ganzen addiert. Die Gröfse der gemefsenen Figur in Bezug auf ein bestimmtes Quadratmafs richtet sich offenbar nach dem Mafsstabe, nach welchem die Figur aufgetragen ist und mufs letzterer mit der Gröfse der Quadratseiten des Netzes verglichen werden. Hieraus ergiebt sich aber, dafs die so bestimmte Flächengröfse keinen Anspruch auf grofse Genauigkeit machen kann, daher man sich dieses Planimeters auch nur für untergeordnete planimetrische Arbeiten bedienen wird.

§. 516.

2. Der Planimeter von Oldendorp.

Dieser in Fig. 277. in halber wahrer Gröfse dargestellte Planimeter besteht in einem quadratischen Rahmen $ABCD$ von Holz oder Messing, der, zweien Seiten desselben parallel, von feinen Seidenfäden in dem Abstande von 2 Ruthen des der Karte zum Grunde liegenden verjüngten Mafsstabes überspannt ist. Die Ecken des Rahmens enthalten Charniere, durch welche demselben eine rautenförmige Gestalt ertheilt und daher der für die quadratische Gestalt angenommene Mafsstab bis zu einer gewifsen Grenze hin mehr oder weniger verkleinert werden kann. Ein dazu gehöriger Schlüfsel dient zum Feststellen, so wie ein an der Rahmenseite AB längs eines daran befestigten Stiftes ab verschiebbarer Drath cd zum Orientieren beim Berechnen. Die auf den Seiten AC, BD befindlichen Knöpfe e, f dienen zum Anfafsen des Planimeters.

Aufserdem gehört zu demselben der in Fig. 278. dargestellte Zirkel EFG, dessen Schenkel durch eine Schraubenstange $e_1 f_1$ verbunden sind und deren Spitzen durch eine Stellschraube e_1 eine Entfernung von 60 Ruthen (falls der Morgen 120 Quadratruthen enthält) erhalten. In dem einen Schenkel ist ein kleines Rädchen g mit 50 Zähnen und einer entsprechenden Eintheilung drehbar, so wie auf demselben eine Feder h angebracht ist, die in den einen Einschnitt des Rädchens springt, wenn der Zirkel bis zu 60 Ruthen Weite geöffnet ist.

Vor dem Gebrauche legt man den Planimeter auf den Mafsstab der Karte, verschiebt den Rahmen so weit, dafs die Fäden von 10 zu 10 Ruthen Entfernung genau mit 10 Ruthen des Mafsstabes übereinstimmen und stellt die Charniere fest. Auch giebt man den Zirkelspitzen genau einen Abstand von 60 Ruthen, zieht das Stellschräubchen e_1 an und stellt die Feder h auf o der Eintheilung des Rädchens. Legt man darauf den Planimeter auf die zu berechnende Figur, so

Fig. 277.



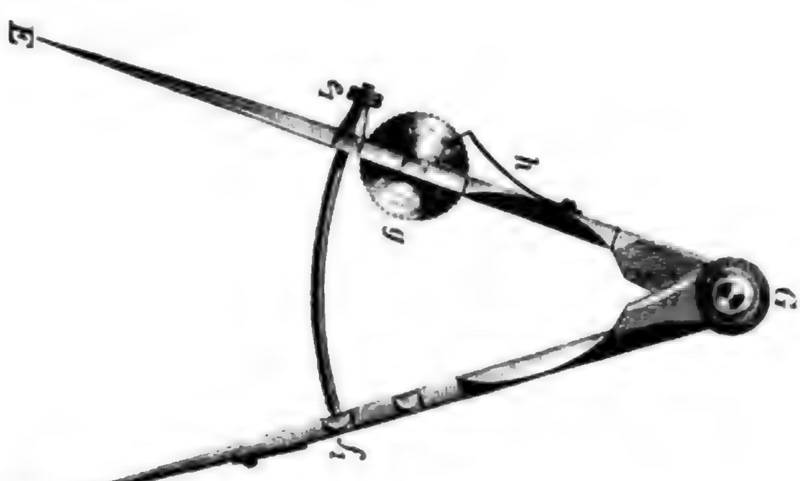


Fig. 278.

werden die Fäden 2 Ruthen hohe Trapeze abschneiden, deren Gröfse man also dadurch mifst, dafs man für die halbe Summe der parallelen Seiten die mit ihnen parallele Mittellinie des Trapezes mit dem Zirkel bestimmt. So oft dieser daher bis zu 60 Ruthen ausgespannt ist, was durch Einspringen der Feder in den folgenden Einschnitt des Rädchens kenntlich gemacht wird, so oft hat man die Gröfse eines Morgens erhalten. Darauf schliefst man den Zirkel wieder und setzt auf diese Weise das Mefsen der Mittellinien von Trapez zu Trapez fort. Dann giebt die Anzahl der fortgeschobenen Einschnitte auf der Eintheilung die Zahl der Morgen.

Hatte man anfangs dem Planimeter die Lage gegeben, dafs der obere Faden des Netzes als Berührungslinie eines Theils der Begrenzungscurve erscheint, so werden meistens über dem oberen und unterhalb des unteren Fadens noch Flächenstücke übrig bleiben, die entweder annähernd als Dreiecke oder als andere Flächentheile durch Schätzung allein, oder durch Mefsung der Grundlinie und Höhe zu bestimmen und daher den vorhin erhaltenen Morgen als Quadratruthen Gröfsen zuzusetzen sind.

Auch mit dem Oldenburg'schen Planimeter *) wird die zu berechnende Fläche in lauter Paralleltrapeze zerlegt und die Mittellinie derselben mit einem eigens construierten Längenmefser bestimmt. Derselbe gestattet nämlich zunächst die Zerlegung der aufsersalb der Figur gezogenen Abscissenlinie in gleiche Theile und die Darstellung der durch die Theilpunkte gehenden senkrechten Ordinaten, dann aber noch die Angabe und Summierung der im Innern der Figur gebildeten Paralleltrapeze nach ihrer mittleren Länge. Zu der Zerlegung dient das sogen. Parallel-Lineal, welches aus einem gewöhnlichen Lineale und einem längs desselben beweglichen Kreuzlineale, das wie eine Reifsschiene construiert ist, besteht. Zu der Mefsung und Summierung der Mittellinien der Paralleltrapeze wird ein zweiter Apparat angewandt, dessen Haupttheile aus einem hölzernen Gestelle, zwei messingenen Kreisscheiben und einer stählernen Zirkelspitze besteht, indem die eine gezähnte Scheibe die Zahl der Umläufe der anderen angiebt, welche mit dem Gestelle in Verbindung steht.

§. 517.

3. Der Wagner'sche Planimeter. **)

Während die vorhin beschriebenen Planimeter durch die Zerlegung der zu berechnenden Figur in Quadrate oder Trapeze die Gröfse derselben bestimmt, wird durch den vom Obergeometer Wagner in Trier erfundenen Planimeter die

---

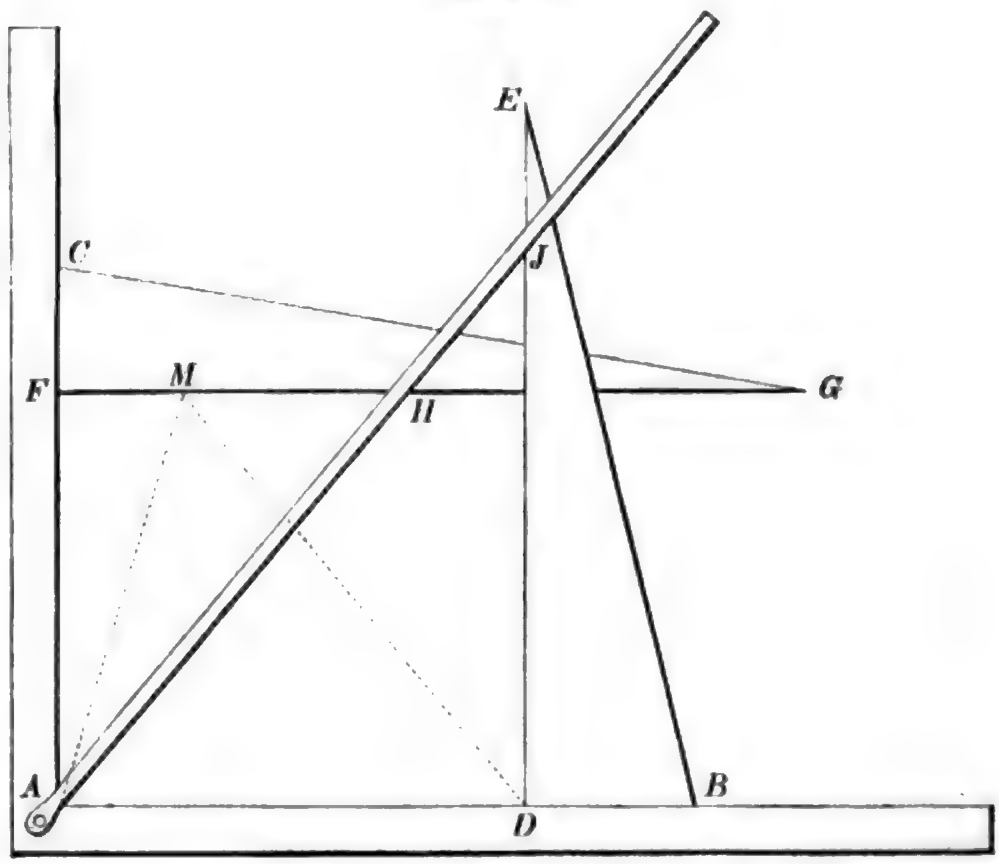
*) Der Oldenburg'sche Planimeter, verbefsert und beschrieben von H. Pieper. Lüneburg 1825.

**) Crelle's Handbuch des Feldmefsens und Nivellierens. Berlin 1826. S. 319. und Ueber den Gebrauch und die Einrichtung eines neu erfundenen Planimeters von G. Wagner. Frankfurt a. M. 1821.

Gröſse von Dreiecken bestimmt, in welche die Karte zerlegt werden kann und daher auch nur auf solche ebenen Figuren mit Vortheil anwendbar ist, welche die Zerlegung in Dreiecke gestatten.

Er besteht aus zwei rechtwinklicht mit einander verbundenen Linealen AB, AC (Fig. 279.), an welchen zwei rechtwinklichte Dreiecke BDE und CFG mit

Fig. 279.



der kürzeren Kathete beliebig verschoben werden können, ein drittes Lineal AHJ aber eine Drehung um A gestattet. Wird letzteres mit seiner einen Kante an einen festen Punkt H in der längeren Kathete des Dreiecks CFG gelegt, so giebt dieselbe Kante an einem auf der längeren Kathete DE des anderen rechtwinklichten Dreiecks verzeichneten Maſsstabes dann den Flächeninhalt des zu berechnenden Dreiecks ADM im Quadratmaſs an, wenn die obere Kante AB des Lineals AB mit der Basis AD, der eine Endpunkt der letzteren mit A zusammenfällt, die Kathete DE des Dreiecks DBE durch den anderen Endpunkt D und die Kathete FG des anderen Dreiecks durch die Spitze M von ADM geht.

Es folgt nämlich aus den beiden ähnlichen Dreiecken AFH und ADJ

$$FH : AF = AD : DJ,$$

folglich ist

$$DJ = \frac{AF \,.\, AD}{FH}.$$

Sind nun von F bis H, n Ruthen des Maſsstabes der Karte aufgetragen, so wird, da $\frac{AF \,.\, AD}{2}$ den Inhalt des Dreiecks $ADM = \Delta$ Quadratruthen darstellt,

die von dem Lineal AHJ auf der Kathete DE abgeschnittene Länge DJ dann die Zahl der Quadratruthen für das Dreieck angeben, wenn der Maſsstab der Kathete DE ein solcher ist, daſs jede Ruthe auf ihm $\frac{2}{n}$ Ruthen des Maſsstabes der Karte, oder daſs 2 Ruthen auf demselben n Ruthen des Maſsstabes der Karte betragen, indem dann $DJ = \frac{2}{n} \cdot \Delta$ Ruthen angiebt.

Anmerkung. Auf ähnlichen Principen beruht auch sowohl der Schmidt'sche Planimeter, der in dessen Anfangsgründen der Mathematik, 3. Aufl. I. Frankfurt a. M. 1822, beschrieben ist, als auch der patentierte Planimeter von Fr. Horsky, von welchem eine Abbildung und Beschreibung in der Zeitschrift des Oesterreichischen Ingenieur-Vereins von 1850 S. 57. u. f. zu finden ist.

§. 518.

Noch andere Planimeter haben die Einrichtung, daſs sie durch ein mechanisches Verfahren die zur Berechnung eines Dreiecks oder Trapezes nöthigen Factoren geben, die Producte derselben aber in eigens angefertigten Multiplicationstafeln darstellen, die also zur Erleichterung der Rechnung viel beitragen. Hierher gehören u. a. die Multiplicationstafeln zum Behufe der Berechnung des Flächeninhaltes bei der Katastral-Vermeſsung in dem Oesterreichischen Kaiserstaate, Wien 1822. Sie enthalten die Producte aller Zahlen von 1 bis 500 mit allen Zahlen von 1 bis 1000. Hierher gehören ferner die Planimeter von Posener, Alder und Harkort. Erstere sind beschrieben in Hartner's Handbuch der niedern Geodäsie, Wien 1850, und in Lemoch's Lehrbuch der praktischen Geometrie, II. Wien 1849, S. 58—69. Ueber den letzteren vgl. m. die Broschüre: Der Universal-Planimeter von Harkort, Cöln 1824. Der Gebrauch dieser Planimeter fordert zur Aufsuchung der zur Berechnung der Dreiecke und Trapeze nöthigen Factoren fast eben so viel Zeit, als wenn der Zirkel und Maſsstab angewandt wird, weshalb im Allgemeinen für den Praktiker dadurch wenig gewonnen wird. Hierdurch wird es auch gerechtfertigt erscheinen, daſs sie hier nicht abgebildet und näher beschrieben werden.

Durch den Planimeter (Ringmeſser) von Westfeld*) wird die zu berechnende Figur in schmale concentrische Ringstücke zerlegt und ihre Gröſse mechanisch bestimmt. Seine Construction und sein Gebrauch gründet sich auf den planimetrischen Satz, daſs wenn r und ρ die zu dem Kreisringe gehörigen Halbmeſser bezeichnen, die Fläche des Ringes durch den Ausdruck $(r + \rho)(r - \rho)\pi$ berechnet wird, oder wenn man die mittlere Proportionalkreislinie der beiden Begrenzungskreislinien mit dem Abstande derselben multipliciert. Der Apparat besteht aus einem gewöhnlichen Handzirkel von der Einrichtung, daſs der eine Schenkel im geöffneten Zustande des Zirkels um eine bestimmte Einheit dem an-

*) Der Ringmeſser, ein Instrument, um Flächen zu berechnen, erfunden und beschrieben von dem Landes-Oeconomie-Conducteur O. Westfeld. Göttingen 1826.

dern Schenkel genähert werden und mit demselben Bogen beschrieben werden kann, deren Halbmefser um die bestimmte Einheit kleiner werden und auch die Längen dieser Bogen gemefsen werden können. Das erste wird dadurch erreicht, dafs durch die Schenkel ein bogenförmiger schräg gezähnter Kamm gelegt ist, dessen Zähne einen solchen Abstand von einander haben, dafs wenn der eine Schenkel um einen Zahn mehr geschlofsen wird, die Enden sich um eine bestimmte Einheit nähern, welches Weiterrücken durch eine angebrachte Feder gehört werden kann. Zur Erreichung der zweiten Forderung enthält der sich öffnende Schenkel an seinem Ende zwei kleine Räder, die sich neben einander um ihre Achse drehen können. Die Peripherie des unteren Rades, Mefsrades, welches das Ende des Schenkels bildet, hat ein gewifses Mafs, durch welches die Länge des beschriebenen Bogens dargestellt wird, während das andere über dem ersteren liegende, schräg gezähnte Rad die Zahl der Umläufe des Mefsrades angiebt. Das Ende des anderen Schenkels läuft in eine Kugel aus, welche in die sphärische Vertiefung eines Gewichtstücks gestellt wird, um dem Zirkel eine feste Stellung auf dem Papiere zu geben. Die Peripherie des Mefsrades mifst 30 Ruthen bei $\frac{1}{3200}$ Verjüngung der Karte; das Zählrad hat 80 Zähne, während der Kamm 80 bis 100 Zähne enthält. So viel mir bekannt, hat dieser Planimeter nur eine sehr geringe Anwendung erfahren, auch darf die Genauigkeit, mit welcher die Flächen sich bestimmen, nur etwa auf $\frac{1}{300}$ angenommen werden.

§. 519.

Wie schon im §. 514. erwähnt, bilden die Planimeter der zweiten Art diejenigen Apparate, welche den Inhalt einer auf der Karte gegebenen ebenen Figur von beliebiger Gestalt durch blofses Umfahren ihrer Peripherie mittelst einer Spitze, die wie bei dem Pantographen nach allen Richtungen beweglich ist, also den bekannten Ausdruck der höheren Analysis $\int y\,dx$ mechanisch darstellen. Durch ihre mechanische Flächenbestimmung wird die gewöhnliche Berechnungsart nicht allein an Schnelligkeit, sondern auch an Sicherheit und Genauigkeit übertroffen.

Nach einer vom Professor Bauernfeind in München im 137. Bande des Dingler'schen polytechnischen Journals S. 81. gegebenen Notiz gebührt die erste Erfindung aller hierher gehörigen Planimeter dem königl. baierischen Trigonometer Joh. Martin Hermann, der sie schon im Herbste des Jahres 1814 machte und sie in Verbindung mit dem Steuerrath Lämmle der Steuerkataster-Commission in München vorlegte. Allein diese Erfindung scheint gänzlich vergefsen worden zu sein, so dafs gewöhnlich theils der Professor Gonella aus Florenz, theils der Schweizer Ingenieur Oppikofer als die eigentlichen Erfinder angesehen werden. Nach Prof. Hülsse*) erfand nämlich Gonella im Jahre 1825 ein Instru-

*) Amtlicher Bericht über die Industrie-Ausstellung aller Völker zu London im Jahre 1851. Berlin, 1852. 1. Theil. S. 629.

ment, welches den Inhalt einer Figur bloſs durch Umfahren ihres Umfanges mit der Spitze eines Fahrstiftes angiebt, während Prof. J. Amsler in seiner weiter unten citierten Broschüre die Erfindung dem Ingenieur Oppikofer im Jahre 1827 zuschreibt. Auch wird in den Reports by the Juries etc. London, 1852. S. 304. erwähnt, daſs Gonella am 11. Jun. 1827 den neuen Planimeter erfunden habe.

Wesentlich verbeſsert wurde aber diese Erfindung erst fast 10 Jahre später von dem deutschen Mechaniker Ernst in Paris, welcher im Jahre 1836 von der Pariser Akademie der Wiſsenschaften für seine Verbeſserung und vortreffliche Ausführung des Apparats belohnt wurde. Eine Beschreibung und Abbildung dieses Ernst'schen Planimeters findet sich im 86. Bande von Dingler's polytechnischem Journal S. 33 u. f., ohne vorangeschickte Theorie. Letztere giebt Professor Bauernfeind in seiner vortrefflichen Broschüre: die Planimeter von Ernst, Wetli und Hansen. München, 1853. Im Jahre 1849 machte sich auch der Ingenieur Caspar Wetli in Zürich durch wesentliche Umgestaltung und Verbeſserung des Oppikofer'schen Planimeters bekannt, so daſs in der Abhandlung des Professors Stampfer in Wien, in der Zeitschrift des österreichischen Ingenieur-Vereins, Wien., 1850. S. 49. u. f., und im 116. Bande von Dingler's polytechnischem Journal S. 424. u. f., worin auſser einer Beschreibung des Instruments auch eine Theorie und die Angabe der Genauigkeit desselben sich findet, Wetli als der Erfinder angesehen wird.

Diese Ernst-Wetli'schen Planimeter haben später von Anderen Verbeſserungen, aber auch Abänderungen erhalten, welche zum Theil als zweckwidrig angesehen werden müſsen. Zu den verbeſserten Planimetern gehört insbesondere der vom Hofrath Hansen in Gotha angegebene und vom Mechaniker Ausfeld daselbst verfertigte Planimeter. Zu den letzteren der Decher'sche Planimeter, welcher im 136. Bande des Dingler'schen Journals S. 168. u. f. beschrieben und abgebildet ist. Zu den neueren Planimeter-Constructionen gehören auch noch die von Keller in Rom, Fichtbauer in Fürth u. a. Abgesehen von ihrem theoretischen Interesse können sie nur dann einen Vorzug erlangen, wenn sie bei gleicher Genauigkeit für einen billigeren Preis sich herstellen laſsen. Noch mag erwähnt werden, daſs der Planimeter von Sang, welcher im 122. Bd. des Dingler'schen Journals S. 420. beschrieben und abgebildet ist, von dem Ernst'schen sich fast gar nicht unterscheidet.

Der hohe Preis, welcher der allgemeinen Verbreitung und Anwendung der Planimeter von Ernst, Wetli und Hansen entgegensteht, hat auch den Professor Jakob Amsler in Schaffhausen veranlaſst, ein einfacheres und compendiöseres Instrument zum nämlichen Zweck aufzufinden, dessen Construction zwar im Allgemeinen auf die Principe der erwähnten Instrumente sich stützt, doch aber in der Hinsicht von ihnen sich unterscheidet, daſs beim Gebrauch der Apparat sich um einen einzigen festen Punkt als Pol dreht, während die anderen Planimeter nach zwei auf einander normal stehenden Richtungen fortgeführt werden. Aus

diesem Grunde hat der Erfinder dem Apparate den Namen Polarplanimeter gegeben. Er ist in der von demselben erschienenen Broschüre „über die mechanische Bestimmung des Flächeninhalts, der statischen Momente und der Trägheitsmomente ebener Figuren, insbesondere über einen neuen Planimeter von J. Amsler, Schaffhausen, 1856" beschrieben und abgebildet. Eine auf die höhere Analysis gestützte Theorie desselben vom Professor Dr. Wittstein in Hannover findet sich in der Zeitschrift des Architekten- und Ingenieur-Vereins für das Königreich Hannover. Neue Folge. VII. 289.

Aus der grofsen Zahl der im Vorhergehenden benannten und fast einerlei Grundlage habenden Planimeter ergiebt es sich zur Genüge, dafs es nicht meine Absicht sein kann, hier jeden einzelnen vollständig zu beschreiben und abzubilden, ohnehin da für die meisten derselben die Quellen, wo der Leser eine Beschreibung und Abbildung findet, angegeben sind. Es erscheint deshalb auch wohl gerechtfertigt, wenn in dem Nachfolgenden nur von dem Hansen'schen Planimeter und dem Amsler'schen Polarplanimeter eine vollständige Beschreibung und Abbildung nebst Theorie derselben gegeben wird.

§. 520.

4. Der Planimeter von Hansen.

Dieser von dem Mechanikus Ausfeld in Gotha verfertigte Planimeter ist in Figg. 280. bis 282. im Drittel wahrer Gröfse im Grundrifs, und in der Vorder- und Seitenansicht, mit Hinweglafsung einzelner Theile, dargestellt.

Den Fufs bildet ein 2 Linien starker Messingrahmen AAA von $12\frac{1}{2}$ Zoll Länge und $4\frac{1}{2}$ Zoll mittlere Breite. Durch die drei Stellschrauben BBB mit hölzernen Unterlegscheiben kann derselbe so gestellt werden, dafs die auf ihm ruhenden Schlitten horizontal gestellt werden können, oder wenigstens keine freiwillige Bewegung nach der einen oder anderen Seite bekommen.

Der untere Schlitten besteht aus einer 4 Linien dicken Metallplatte $CCCC$ mit 6 Durchbrechungen, von welchen in jeder eine massive Metallrolle, deren stählerne Achse zwischen Schraubenspitzen sich dreht, angebracht ist. Durch drei dieser Rollen, DDD_1, wird die Bewegung der Schlitten der Längsrichtung des Fufsgestelles nach bewirkt, indem zwei derselben, DD, um eine sichere Führung der Schlitten zu erzielen, in einer Rille aa des Fufses laufen, während die dritte D_1 flach ausläuft. Die drei anderen Rollen, EEE_1, dienen zur Unterlage des trapezförmigen oberen Schlittens FFF von $17\frac{1}{2}$ Zoll Länge und 4 Zoll Breite.

Durch die zuletzt erwähnten Rollen EEE_1 kann dem oberen Schlitten eine Bewegung ertheilt werden, welche zu der des unteren Schlittens normal steht. Die unter der längeren Schiene liegenden Rollen EE laufen ebenfalls in einer an der Unterfläche des Schlittens angebrachten Rille, während die dritte E_1 glatt unter dem Schlitten liegt. Zur Vermeidung des Herabgleitens des Schlittens und

Fig. 280.

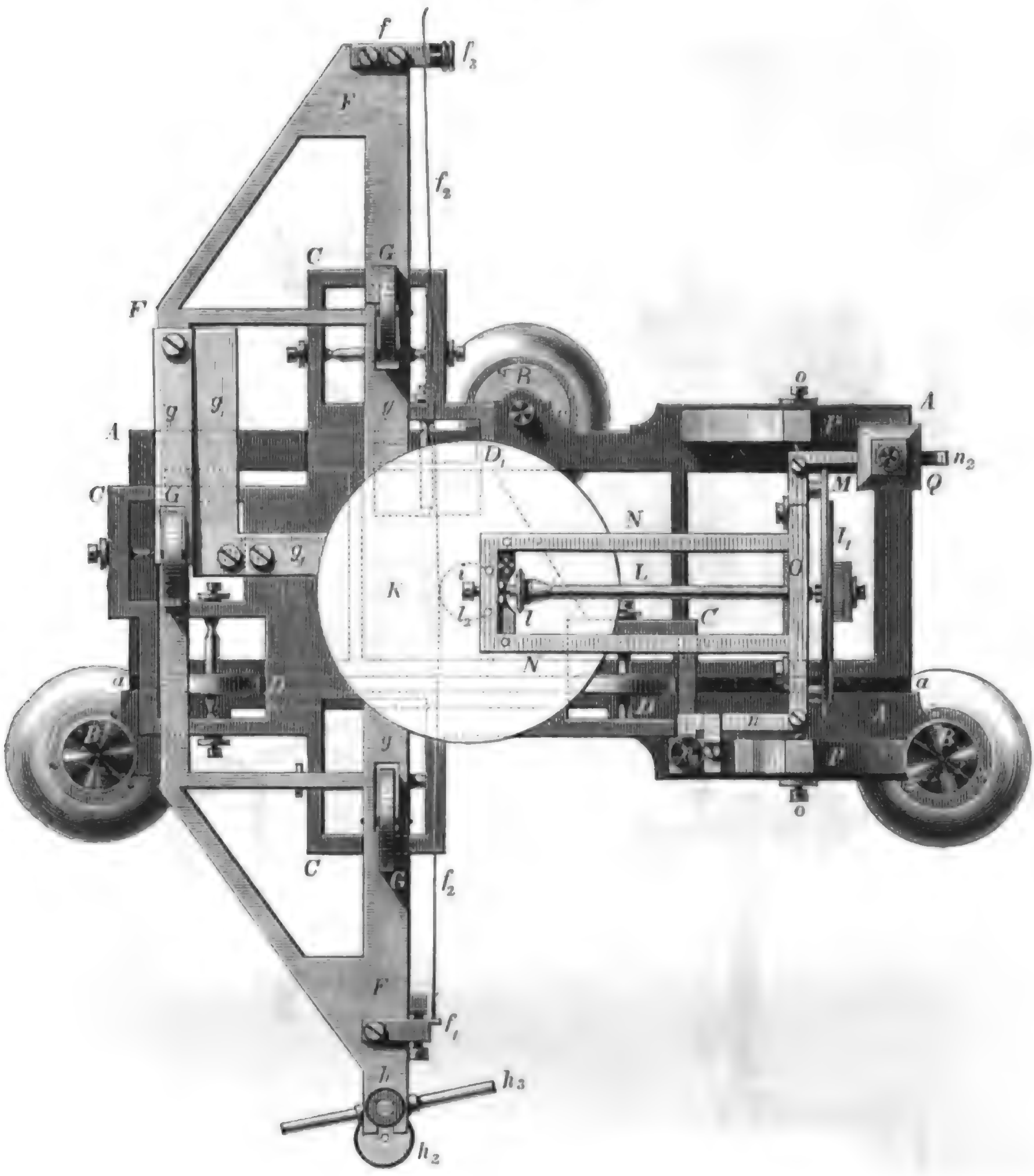

f
f_3
F
f_2
C
G
F
g
g_1
A
C
G
g_1
B
o
A
D_1
n_2
M
Q
N
l_1
L
O
K
l
l_2
C
N
a
a
B
D
n
o
C
G
f_2
F
f_1
h
h_3
h_2

Fig. 282.

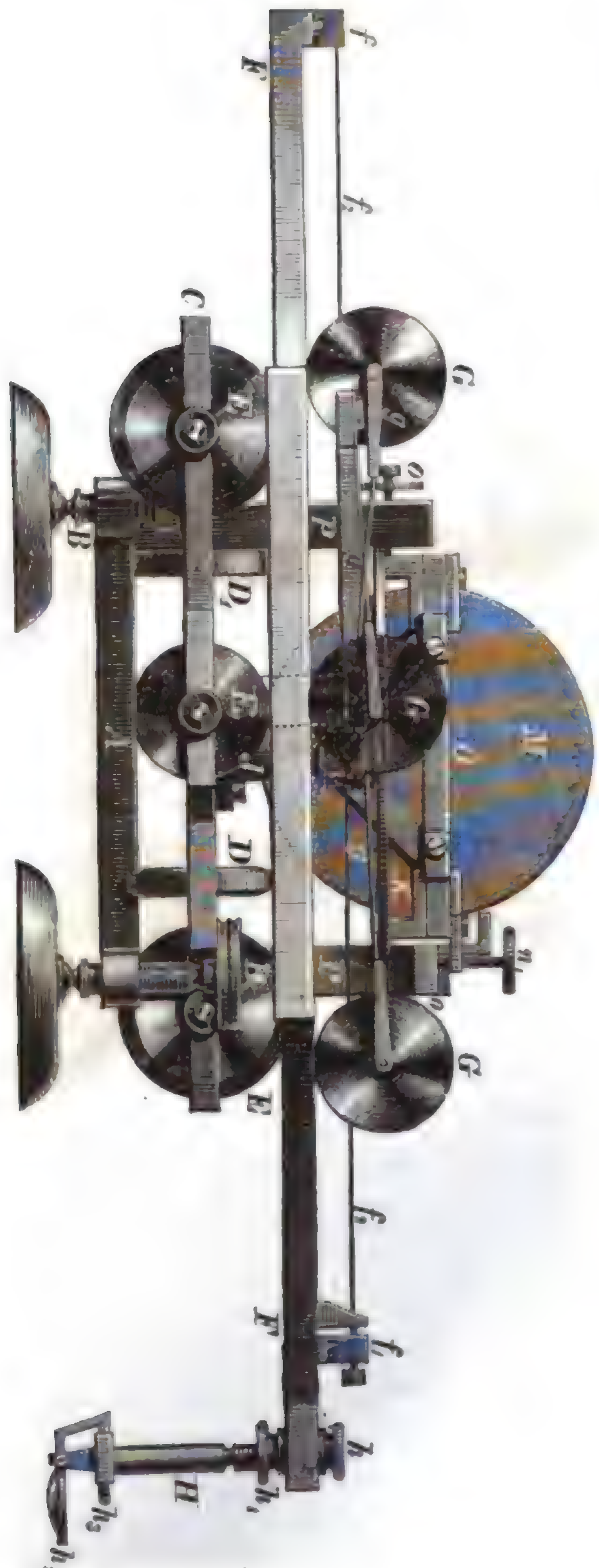


Fig. 281.



zur Erreichung einer sicheren Bewegung desselben wird er durch drei auf seine Oberfläche drückende Leitrollen *G G G* mittelst daran befestigter Federn *g g g* sanft an die unteren Rollen gedrückt, indem die Federn an eine Platte g_1 g_1 geschraubt sind, die auf einer auf dem unteren Schlitten stehenden Säule g_2 ruht. An den beiden Enden der längeren Schiene sind zwei Ansätze befestigt, zwischen denen ein um die Trommel der Drehscheibe sich schlingender feiner Metalldrath f_2 f_2 befestigt ist und durch eine an dem einen Ansatze vorhandene Stellschraube f_3 gehörig gespannt werden kann. Aufserdem ist an dem einen äufsersten Ende der längeren Schiene zwischen gabelförmigen Ansätzen der Führer angebracht, welcher in Fig. 281. aber weggelafsen ist. Er besteht aus einem Cylinder *H*, dessen oberes Ende in ein Schraubengewinde ausläuft und durch zwei Knopfschrauben *h* h_1 an der Schiene verstellt und befestigt werden kann. Das untere Ende der Säule trägt ein zwischen Schraubenspitzen drehbares Convexglas h_2 mit einem in seiner Mitte eingerifsenen kleinen Kreise, dessen Mittelpunkt auf dem Umfange der zu mefsenden Figur herumgeführt wird und wobei das Glas zugleich als vergröfsernde Loupe dient. Zur Bewegung des Führers dient der die Säule umgebende Hebel h_3.

Auf dem unteren Schlitten ist noch die hohle cylindrische Säule *J* befestigt, welche einen senkrecht stehenden Zapfen aufnimmt, dessen oberes Ende die Trommel *i* mit der darauf befestigten Drehscheibe *K* trägt. Zur Befestigung des Zapfens dient die Mutter i_1.

Die Drehscheibe von fast 5 Zoll Durchmefser ist auf ihrer Oberfläche genau eben abgeschliffen, und damit sie die nöthige mäfsige Reibung der darauf liegenden Rolle *l* veranlafst, ist sie mit einem dünnen und gleichmäfsig dicken Papier überzogen.

Der äufsere Durchmefser der Trommel beträgt $9^1/_4$ hannoversche Linien.

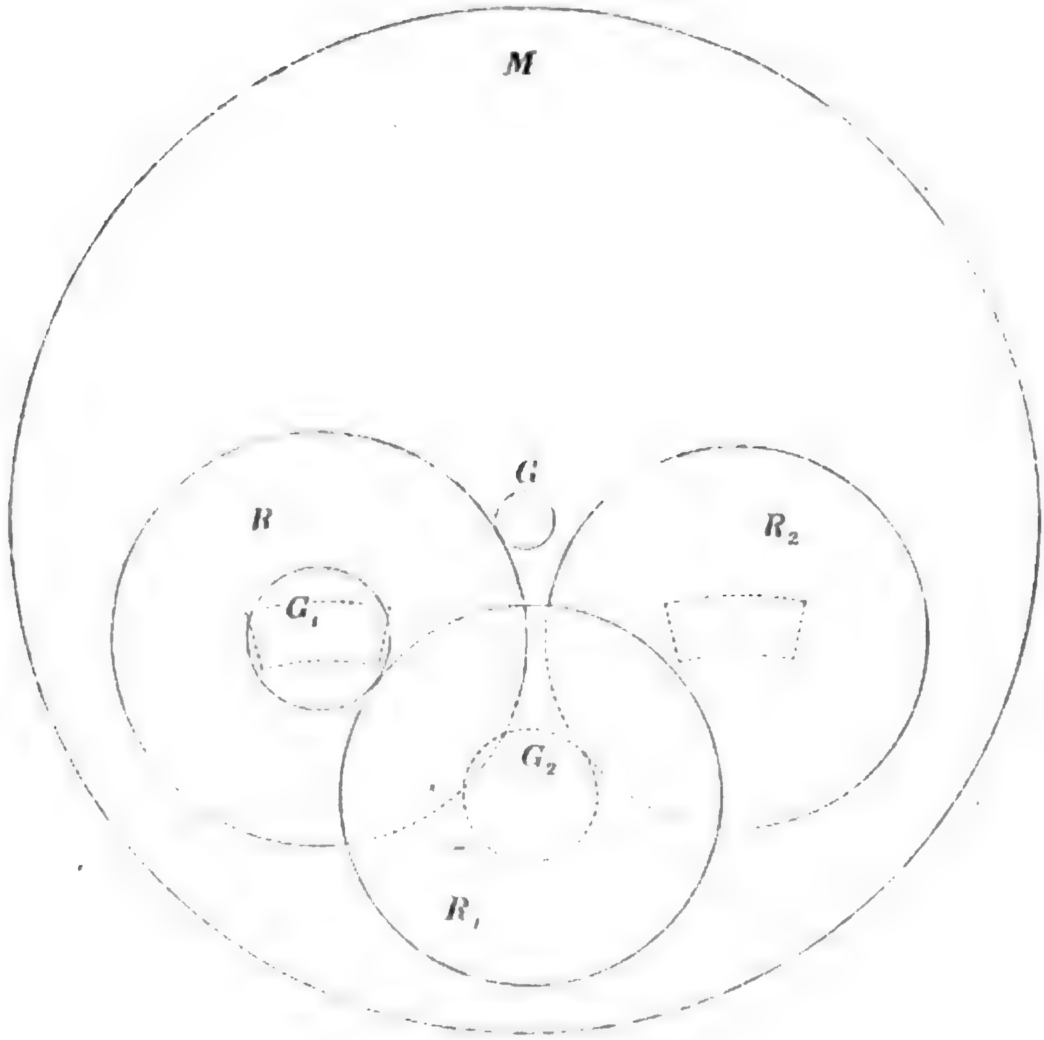
Die durch die Drehscheibe bewegliche, doppelt konisch geformte Rolle *l*, welche mit ihrem scharfen Rande auf dem Papier der Drehscheibe ruht und deren berührender Durchmefser von der Einheit abhängt, in welcher die auszumefsende Fläche ausgedrückt werden soll, ist auf das eine Ende der cylindrischen Hauptachse *L* geschoben, während das andere ein kleines Getriebe und einen daran befestigten Zeiger l_1 (Fig. 280.) trägt, welcher sich auf der in hundert gleiche Theile getheilten Scheibe, dem Zifferblatt, *M* dreht und die Hundertstel einer Umdrehung der Rolle erkennen läfst. Der kleine Stahlzapfen, welcher in dem der Rolle *l* zunächst liegenden Ende der Hauptachse *L* steckt, ruht auf dem verschmälerten Ende einer plattenförmigen Feder, die unterhalb der an dem Rahmen *N N* festgeschraubten Platte ν befestigt ist. Durch das Anziehen des Stellschräubchens ν_1 kann die Feder etwas niedergedrückt und dadurch dann die Hauptachse von der Spitze der Stellschraube l_2, die zur Moderierung des Ganges der Hauptachse dient, entfernt werden. Der Stahlcylinder des anderen Endes der Hauptachse tritt in einen, am Zifferblatte befestigten Bock und wird durch

eine stählerne Vorlegplatte mittelst des Schräubchens l_3 gehalten. Der Rahmen NN läfst sich durch den Hebel n mittelst der Stellschraube n_1 um eine dem Drathe parallele Achse etwas auf- und niederbewegen und dadurch auch die Rolle l von der Drehscheibe abheben. Der Rahmen bildet mit dem parallelepipedischen Arme O ein Ganzes und ist letzterer zwischen Schraubenspitzen $o\,o$ auf den beiden, auf dem Fufsgestelle befestigten Böcken PP drehbar. Das eine Ende des Armes O trägt den erwähnten Hebel n, das andere, nach der entgegengesetzten Seite hin den Hebel n_2 für das Gegengewicht Q, um den Druck der Rolle auf die Drehscheibe nach Erfordern zu vermehren oder zu vermindern. Eine seitliche Verlängerung des einen Bocks bildet auf ihrer Oberfläche den Stützpunkt für die Stellschraube n_1. Indem die Rolle l durch andere auf die Achse L zu steckende Rollen vertauscht wird, kann man leicht andere Einheiten der Fläche erhalten.

Noch ist zu bemerken, dafs alle Schrauben, deren Spitzen als Umdrehungsachsen dienen, mit Gegenmuttern versehen, überhaupt alle Theile mit grofser Sorgfalt gearbeitet sind, um eine möglichst richtige und gleiche Bewegung zu erzielen.

Durch den erwähnten Zeiger l_1 erfährt man an dem auf dem Arme O befestigten eingetheilten Zifferblatte M unmittelbar die Einheiten der Fläche bis zu Hundert. Um aber auch die Zahl der Hunderte und Tausende ohne besondere Zählung der Umdrehungen ablesen zu können, sind noch hinter dem Zifferblatte die in Fig. 283. ungefähr in natürlicher Gröfse dargestellten Getriebe und Zahnräder angebracht. Indem nämlich das an der Hauptachse L (Fig. 280.) sitzende Getriebe G mit 6 Stöcken in das mit 60 Zähnen versehene Rad R eingreift, giebt die 10 Mal langsamere Umdrehung des letzteren die Hunderte der Umdrehung des Zeigers an. Da nun ferner das auf der Achse von R sitzende, 20 zähnige Triebrad G_1 in das Zahnrad R_1 mit 60 Zähnen eingreift, so ist die Umdrehung von R_1 und daher auch die des damit verbundenen Triebrades G_2 mit 18 Zähnen 3 Mal langsamer als die Umdrehung von R, und wegen des Eingreifens des Triebrades G_2 in das mit 60 Zähnen versehene Rad R_2, $3 \,.\, 3^1/_3$ d. h. 10 Mal langsamer als die des Zahnrades R, oder 100 Mal so langsam als eine Umdrehung des Zeigers, so dafs also das Rad R_2 die Tausende der Theile des eingetheilten Zifferblattes giebt. Durch Einschnitte auf der vorderen Fläche des Zifferblattes M, in der Zeichnung durch punktierte Linien angedeutet, und durch Ziffern auf den Vorderflächen der Räder R und R_2 können dann die Hunderte und Tausende der Theile des Zifferblattes abgelesen werden. Die Endpunkte der erwähnten Getriebe und Zahnräder liegen theils in der Platte M, theils in einer auf dem Arm O (Fig. 280.) festgeschraubten, ausgeschnittenen dreiseitigen Platte.

Fig. 283.



§. 521.

Die Verbefserungen, welche Herr Hofrath Hansen an dem Ernst-Wetli'schen Planimeter angebracht hat, sind nach Professor Bauernfeind *) besonders folgende.

1. Während am Wetli'schen Planimeter jeder der beiden Schlitten mittelst dreier Rollen in Rillen der Schienen läuft, laufen am Ausfeld'schen Instrumente nur zwei Rollen jedes Schlittens in der Rille einer Schiene, die dritte Rolle dagegen läuft flach aus. Durch diese Einrichtung wird der leicht eintretende Uebelstand beseitigt, dafs, wenn die Schienen und die Rollen nicht vollkommen parallel stehen, die Führung der Schlitten und hierdurch der ganze Gang des Instruments gestört wird.

2. Die Hauptachse hat am Wetli'schen Planimeter konische, am Ausfeld'schen dagegen cylindrische Zapfen, von denen der eine, wie Oben ausführlich dargestellt ist, vor der Spitze einer Stellschraube auf einer Feder liegt, wodurch die Reibung vermindert und daher die leichtere Abnutzung vermieden wird.

*) Bauernfeind, die Planimeter u. s. w. S. 38.

3. Am Wetli'schen Planimeter ist das Hauptzifferblatt in 1000 Theile getheilt und zählt ein Nebenzifferblatt blofs die ganzen Umdrehungen der Rolle oder der Hauptachse. Am Ausfeld'schen Planimeter dagegen ist nur das Zifferblatt M in 100 gleiche Theile getheilt, während die durch die Zahnräder R und R_2 (Fig. 283.) bewegten und durch die angebrachten betreffenden Einschnitte im Hauptzifferblatt M sichtbaren Nebenzifferblätter die Hunderte und Tausende der Flächeneinheiten angeben, wodurch das Ablesen bedeutend erleichtert wird.

4. Das Umfahren der Figur geschieht nach Wetli mit einem Stifte, der den Umfang berührt, nach Hansen dagegen durch eine mit einem kleinen Kreise versehene und vergröfsernde Loupe, die nicht nur keine Berührung des Papiers fordert, sondern auch den Umfang vergröfsert darstellt. In dieser Hinsicht ist aber doch zu bemerken, dafs die Loupe, damit sie durch das beobachtende Auge keine Fehler erzeugt, tief genug auf die Ebene des Papiers herabgelafsen werden mufs, was jedoch durch die an dem Führer angebrachten Schrauben leicht zu erreichen ist.

Theorie und Gebrauch des Wetli-Hansen'schen Planimeters *).

§. 522.

Denkt man sich die Spitze des Führers, also bei dem Hansen'schen Planimeter den Mittelpunkt des kleinen Kreises der Loupe desselben, auf einem bestimmten Punkte des Umfangs der zu mefsenden Figur und parallel mit der Richtung des Drathes f_2 vor- oder rückwärts geschoben, so wird durch den sich auf- oder abwickelnden Drath die Trommel mit der Scheibe K, hierdurch aber wieder die das Papier der Scheibe innig berührende Rolle l gedreht, also auch der Zeiger l_1 längs der Eintheilung des Zifferblattes M vor- oder rückwärts bewegt. Wird dagegen der Führer in einer Richtung bewegt, die auf der ersteren normal steht, wobei also bei dem Hansen'schen Planimeter beide Schlitten auf dem Fufsgestelle bewegt werden, so erfolgt nur eine Verstellung des Mittelpunkts der Scheibe gegen den Berührungspunkt der Rolle, während weder die Trommel mit der Scheibe, noch die Rolle mit dem Zeiger eine Drehung erleidet. Liegt endlich die Richtung der Bewegung des Führers zwischen den erwähnten Hauptrichtungen, so findet nicht nur eine Drehung der Scheibe und des Zeigers, sondern auch eine Verstellung des Mittelpunkts der Scheibe gegen den Berührungspunkt der Rolle Statt und wird daher in jedem Augenblicke der Bewegung ein Element eines anderen Berührungskreises auf der Scheibe K abgewickelt.

Zu der Darstellung des Zusammenhanges der drehenden und fortgleitenden Bewegung der Schlitten des Planimeters werde die zu mefsende Figur auf Coordinaten bezogen, deren Achsen zu den beiden Grundbewegungen des Planimeters parallel sind und zwar stelle die Bewegung des oberen Schlittens allein, parallel

*) Stampfer a. a. O. und Bauernfeind a. a. O.

mit der Richtung des Drathes, die Abscissenachse, also die beider Schlitten auf dem Fufsgestelle die Ordinatenachse vor. Der Anfangspunkt der Coordinaten falle mit dem Anfange der Bewegung des Führers zusammen. Es bezeichne nun

r den Halbmefser der Trommel bis in die Mitte des Drathes,

r_1 den Halbmefser der Rolle,

ρ den Abstand des Berührungspunkts der Rolle vom Mittelpunkte der Scheibe beim Anfange der Bewegung, wobei der linksliegende Abstand positiv sein mag,

φ den Drehungswinkel der Scheibe, und

v den Drehungswinkel der Rolle, beide im Bogenmafs,

x die Länge der Bewegung des Führers, wobei die Richtung vom Instrumente weg positiv sein mag und

y die Länge der Bewegung parallel zur Ordinatenachse.

Alsdann ist das von der Trommel auf- oder abgewickelte Drathstück gleich der Verschiebung des Führers nach der Abscissenachse also

$$\pm x = r\varphi, \qquad [1]$$

und es würde auch der von der Rolle abgewickelte Bogen $r_1 v$ dem Werthe $\rho\varphi$ gleich sein, wenn ρ constant wäre; da aber ρ veränderlich ist, so ist das Bogenelement $r_1 \partial v$ der Rolle dem Elemente des Berührungskreises derselben auf der Scheibe gleich, also da der Halbmefser dieses Kreises veränderlich und $= \pm(\rho \pm y)$ ist,

$$r_1 \partial v = \pm(\rho \pm y)\,\partial\varphi. \qquad [2]$$

Da nun nach [1] $\qquad \pm\partial x = r\,\partial\varphi,$

also $\qquad \pm\dfrac{\partial x}{r} = \partial\varphi$ ist,

so ist $\qquad r r_1 \partial v = \pm(\rho \pm y)\,\partial x,$

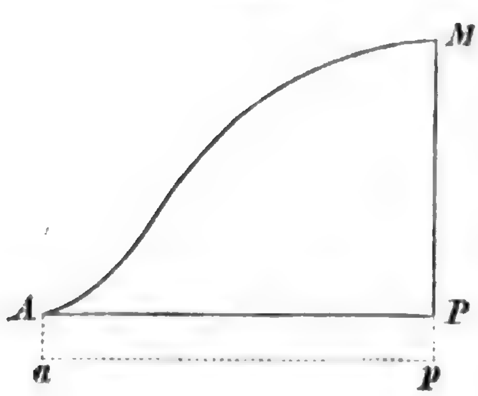
woraus dann durch Integration folgt

$$r r_1 v = \pm(\rho x + \smallint y\,\partial x). \qquad [3]$$

Weil nun $r r_1$ constant ist, so drückt die rechte Seite dieser Gleichung offenbar eine Fläche aus, welche der Winkelbewegung v proportional ist. Ist nämlich in Fig. 284. AM eine beliebige Curve, deren Gleichung $y = f(x)$, so ist für $AP = x$, die Fläche $APM = \smallint y\,\partial x$ und wenn für $Aa = \rho$, ap parallel AP gezogen wird, das Rechteck $AapP = \rho x$, also die Fläche

$$aAMp = \rho x + \smallint y\,\partial x = r r_1 v.$$

Fig. 284.



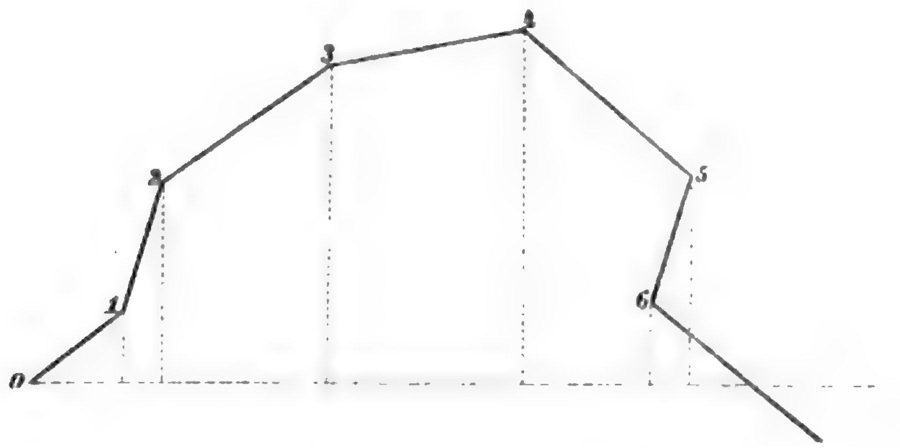
Es kann demnach der Planimeter als eine Integrationsmaschine für das Differential

$f(x)\,\partial\,x$ angesehen werden, wenn die Curve $y = f(x)$ in einer Zeichnung gegeben ist.

§. 523.

Es sei nun eine beliebig begrenzte ebene Figur (Fig. 285.) gegeben, deren Umfang aus den Stücken 01, 12, 23 ... $n - 1 . n$ besteht. Ist 0 der Anfangs-

Fig. 285.



punkt der Figur und sind die durch die Punkte 0. 1. 2. 3. ... n gedachten Coordinaten, auf die beiden durch 0 gelegten Coordinatenachsen bezogen, beziehungsweise

$$x_0,\ x_1,\ x_2, \dots\dots\dots\ x_n,$$
$$y_0,\ y_1\ 2\ y_2, \dots\dots\dots\ y_n;$$

bezeichnet ferner wieder ρ den Abstand des Berührungspunkts der Rolle vom Mittelpunkte der Scheibe, wenn der Führer auf 0 steht, so sind die Abstände desselben

für den Punkt 1. $\rho + y_1$,
" " " 2. $\rho + y_2$,
. . . .
" " " m. $\rho + y_n$.

Ebenso sei wieder

v_1 der Drehungswinkel der Rolle für den Weg des Führers von 0 bis 1,
v_2 " " " " " " " " " " 1 " 2,
v_3 " " " " " " " " " " 2 " 3,
. . . .
v_m " " " " " " " " " " $m - 1$ bis m

und setzt man der Kürze halber für das Integral von $y\,\partial\,x$ zwischen den Grenzen $x = x_{m-1}$ bis $x = x_m$ $\int y_m\,\partial\,x$, so ist nach der Gleichung [3] des vorigen Paragraphen für die Bewegung des Führers von

$$
\begin{aligned}
&0 \text{ bis } 1 \ldots \pm r r_1 v_1 = \rho x_1 \pm \int y_1 \partial x, \\
&1 \;\text{„}\; 2 \ldots \pm r r_1 v_2 = (\rho + y_1)(x_2 - x_1) \pm \int y_2 \partial x, \\
&2 \;\text{„}\; 3 \ldots \pm r r_1 v_3 = (\rho + y_2)(x_3 - x_2) \pm \int y_3 \partial x, \\
&\ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \\
&\ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \\
&\ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \\
&n-1 \text{ bis } n \ldots \pm r r_1 v_n = (\rho + y_{n-1})(x_n - x_{n-1}) \pm \int y_n \partial x.
\end{aligned}
$$

Vollzieht man die angedeuteten Multiplicationen wirklich, so werden bei der Addition der genannten Gleichungen die Producte von ρ in x_1, $x_2 \ldots$ bis auf x_n sich aufheben, während $\rho x_n = 0$ ist und drückt man die Summe aller v durch $\Sigma\,(v)$ aus, so ist

$$
\begin{aligned}
\pm r r_1 \Sigma (v) = &\pm \int y_1 \partial x + y_1 (x_2 - x_1) \pm \int y_2 \partial x + y_2 (x_3 - x_2) \\
&\pm \int y_3 \partial x + \ldots + y_{n-1} (x_n - x_{n-1}) \pm \int y_n \partial x.
\end{aligned}
$$

Da aber die einzelnen Glieder des rechtsseitigen Ausdrucks nach dem vorigen Paragraphen die auf einander folgenden Flächentheile darstellen, in welche die gegebene Figur durch die aus den Punkten 1. 2. 3. ... auf die durch 0 gelegte Abscissenachse senkrecht gezogenen Ordinaten zerlegt wird, so wird die Summe derselben der Fläche der Figur gleich und daher, wenn diese durch F bezeichnet wird,

$$F = \pm r r_1 \Sigma\,(v). \qquad [4]$$

Da nun ρ aus diesem Ausdruck ganz verschwunden ist, so ist die Lage des Berührungspunktes der Rolle gegen den Mittelpunkt der Scheibe ganz unabhängig und man kann daher sowohl diese Lage, als auch die Stellung der Figur gegen den Planimeter, sowie auch den Anfangspunkt an jeder beliebigen Stelle des Umfangs wählen.

Läfst man auch vorläufig die Vorzeichen des obigen Ausdrucks aufser Acht und berücksichtigt, dafs $r r_1$ für jeden Apparat constant ist, so ist die algebraische Summe aller Drehungen der Rolle und des Zeigers der von dem Führer umzogenen Fläche proportional.

Soll also durch den Zeiger des Zifferblatts die Fläche der Figur selbst angegeben werden, so mufs man die zu einer ganzen oder aliquoten Umdrehung des Zeigers gehörige Flächeneinheit kennen, welche durch F_1 bezeichnet werden mag. Da in diesem Falle aber $\Sigma\,(v) = 2\,\pi$ ist, so erhält man

$$F_1 = 2\, r r_1 \pi. \qquad [5]$$

Enthält nun das Zifferblatt n gleiche Theile, von denen einer die Fläche f vorstellt, ist also $n f = F_1 = 2\, r r_1 \pi$, so erhält man

$$f = \frac{2\, r r_1 \pi}{n} \qquad [6]$$

und

$$r_1 = \frac{F_1}{2\, r \pi}, \qquad [7]$$

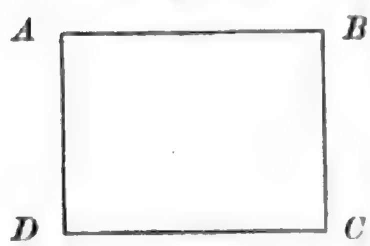
aus welchem letzteren Ausdrucke daher der Halbmeſser r_1 der Rolle berechnet werden kann, damit eine ganze Umdrehung des Zeigers, oder ein aliquoter Theil derselben, eine bestimmte Flächeneinheit und daher auch eine solche für eine gegebene Verjüngung darstellt.

§. 524.

Um auch den Lesern, welche mit den Sätzen der höheren Analysis nicht vertraut sind, eine klare Einsicht in das Wesen des Planimeters zu verschaffen, mag hier noch der von Hansen gegebene elementare Beweis über den Hauptsatz desselben folgen, der von Bauernfeind a. a. O. angegeben ist.

Behalten die Buchstaben r, r_1, ρ, φ, v, x und y die im §. 522. angegebene Bedeutung, so ist zunächst zu zeigen, daſs der Planimeter die Fläche eines Rechtecks miſst, wenn der Führer die Seiten desselben in einer Richtung durchläuft, welche den wachsenden Zahlenwerthen des Zifferblatts entspricht.

Fig. 286.



Bezeichnet in dem Rechteck $ABCD$ (Fig. 286.) AB die Richtung der Abscissen und BC die der Ordinaten, so erhält man, wenn der Führer von A bis B fortgeht, wie im §. 522.

$$x = r\varphi. \qquad [8]$$

Da sich aber während dieser Bewegung der Abstand ρ nicht ändert, wickelt sich auf der Rolle ein Bogen von der Länge

$$\rho\varphi = r_1 v \qquad [9]$$

ab, folglich ist, wenn man aus [8] den Werth für φ in [9] substituiert,

$$\rho x = r r_1 v, \qquad [10]$$

welche der, der Bewegung des Zeigers zugehörigen Ablesung auf dem Zifferblatte entspricht. Geht nun der Führer von B nach C, so ändert sich, wie im §. 522. erwähnt wurde, nur der Abstand ρ, der nun in $(\rho \pm y)$ übergeht, während der Zeiger denselben Stand behält.

Wird darauf der Führer von C bis D bewegt, so entsteht eine der Bewegung von A bis B entgegengesetzte, aber gleiche Drehung der Scheibe, also ist

$$-x = -r\varphi$$

und auf der Rolle wickelt sich ein Bogen von der Länge

$$(\rho + y)\varphi = r_1 v_1$$

ab, es ist daher analog der Gleichung [10]

$$-(\rho \pm y)x = -r r_1 v_1. \qquad [11]$$

Bewegt sich nun endlich der Führer von D bis A zurück, so erfolgt auch hierbei keine Drehung der Scheibe, aber es verwandelt sich der Abstand des Berührungspunkts der Rolle $\rho \pm y$ wieder in ρ. Es ist daher auch die Ablesung auf dem

Zifferblatte der in D gleich. Verbindet man nun die Gleichungen [10] und [11] durch Addition, so erhält man

$$y x = r r_1 (v - v_1). \qquad [12]$$

Da nun aber $x y$ die Fläche des Rechtecks $A B C D$ darstellt und $r r_1$ bei demselben Planimeter constant ist, so ist die Summe der Drehungen des Zeigers der Fläche des Rechtecks proportional.

Wird nun ferner mit dem Rechteck $A B C D$ ein zweites $E F G H$, wie Fig. 287. zeigt, verbunden, so giebt bei der Bewegung des Führers längs $A E$, $E F$, $F G$, $G H$, $H A$, $A B$, $B C$, $C D$ und $D A$ der Planimeter die Summe beider Rechtecke an; weil aber hierbei die Bewegung des Führers längs $A D$ gegen die von $D A$ sich aufhebt, so kann auch die Bewegung des Führers längs der Zwischenlinie $A D$ weggelafsen werden. Und da man endlich jede beliebige krummlinichte Figur in lauter Paralleltrapeze von so kleiner Höhe, als man will, zerlegen, jedes derselben aber wieder in ein Rechteck verwandeln kann, deren Summe dann der Fläche der Figur gleich ist, dabei aber wieder, wie vorhin, die Bewegungen des Führers längs der Zwischenlinien weggelafsen werden können: so hat auch bei dieser Ableitung der oben erwähnte Hauptsatz des Planimeters seine Gültigkeit.

Fig. 287.



§. 525.

Die Richtigkeit der Leistungen des Planimeters hängt aber offenbar nicht nur von der richtigen Construction und der genauen Ausführung seiner Theile, sondern auch von der scharfen Rectification seiner Bewegungen ab, damit diese den theoretischen Voraussetzungen entsprechen. Wenn nun aber auch eine derselben darin bestand, dafs die beiden Schlitten normal zu einander sich bewegten, so ist diese Voraussetzung doch nicht unumgänglich nothwendig. Denn bilden diese beiden Bewegungen mit einander den schiefen Winkel α, und stellt dann Y die zu x gehörige schiefwinklichte Ordinate vor, so werden, da

$$Y = y \sin \alpha$$

ist, die Gleichungen [2] und [3] sich in

$$r_1 \partial v = \pm (\rho \pm Y) \partial \varphi$$

und

$$r r_1 v = \pm (\rho x \pm \int Y \partial x)$$

verwandeln und daher Statt [4] der Ausdruck

$$F = \pm r r_1 \Sigma (v) \sin \alpha \qquad [13]$$

entstehen, der sich nur dadurch von [4] unterscheidet, dafs das constante Pro-

duct $r r_1$ noch mit einem anderen ebenfalls constanten Factor sin α multipliciert ist; es wird mithin nur der Halbmefser r_1 der Rolle ein anderer gegen den Halbmefser des Apparats sein, dessen Grundbewegungen rechtwinklicht sind.

Für einen Planimeter mit schiefwinklichten Grundbewegungen würde dann auch für die Gleichung [7] der Ausdruck

$$r_1 = \frac{F_1}{2 r \pi \sin \alpha} \qquad [14]$$

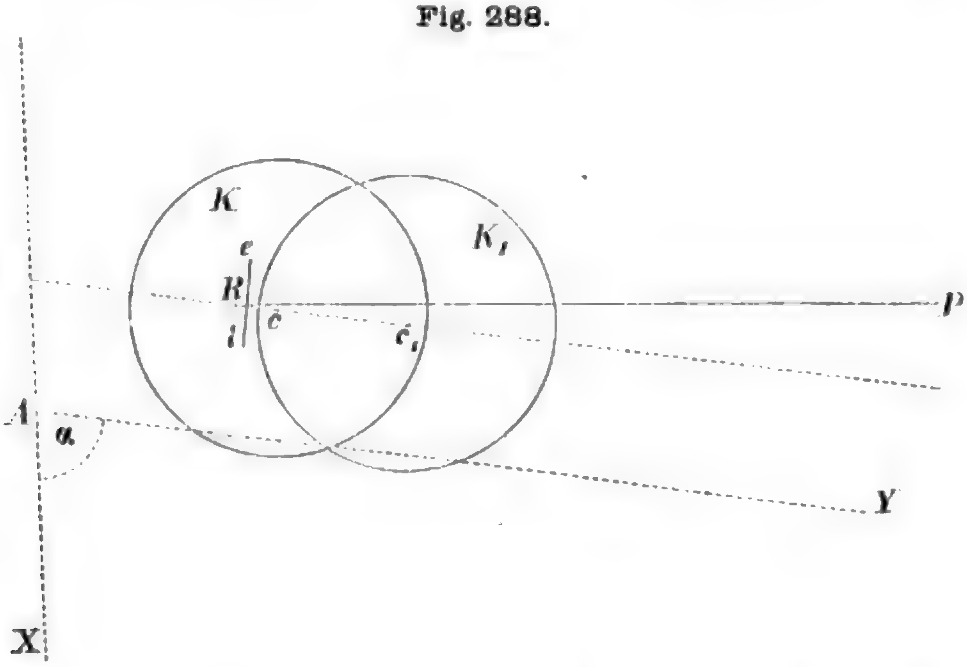
entstehen.

§. 526.

Eine zweite Voraussetzung bestand darin, dafs die Achse der Rolle sowohl der Ebene der Drehscheibe, als der Bewegung des unteren Schlittens parallel sei. Dafs die erste Bedingung nicht erforderlich ist, erhellet schon, weil die gegenseitige Achsendrehung nur von den Halbmefsern, nicht aber von einer constanten Neigung der Rolle gegen die Scheibe abhängt.

Wird nun angenommen, dafs die beiden Grundbewegungen unter einander wieder den Winkel α bilden und die Achse der Rolle mit der Bewegungsrichtung des unteren Schlittens, also auch mit der Ordinatenachse den Winkel β einschliefst, und stellt in Fig. 288. $A X$ die Abscissen- und $A Y$ die Ordinatenachse vor, während K die Drehscheibe, R die Rolle, P die Hauptachse und $R c c_1$ die der Ordi-

Fig. 288.



natenachse parallele Berührungslinie der Rolle und Drehscheibe bezeichnet. Ist dann wieder der anfängliche Abstand des Berührungspunkts der Rolle vom Scheibenmittelpunkte $c = \rho$ und K_1 die Lage der Drehscheibe, nachdem sie um den Ordinatenabstand Y vorwärts geschoben wurde, so ist der dieser Lage entsprechende Abstand

$$R c_1 = \rho + Y,$$

das zugehörige Bogenelement daher, welches die Richtung cl hat,

$$(\rho + Y)\,\partial\,\varphi.$$

Seine Projection auf die Ebene der Rolle demnach

$$(\rho + Y)\cos\beta\,\partial\,\varphi,$$

so wie Statt [2] $$(\rho + Y)\cos\beta\,\partial\,\varphi = r_1\,\partial\,v$$

und Statt [4] $$F = \pm\, r\, r_1\, \Sigma\,(v)\,\frac{\sin\alpha}{\cos\beta} \qquad [15]$$

also auch Statt [7] $$r_1 = \frac{F_1\cos\beta}{2\,r\,\pi\,\sin\alpha} \qquad [16]$$

entsteht, in welchen Ausdrücken aber wieder $\sin\alpha$ und $\cos\beta$ constante Gröfsen bezeichnen.

Wegen der unsicheren Bestimmung der Winkel α und β wird daher der Mechaniker für die Berechnung von r_1 lieber sich zuerst mit einem annähernden Werthe begnügen, den Umfang etwas gröfser, als diese Berechnung ergiebt, machen und dann durch allmäliges Abdrehen den scharfen Rand so weit verkleinern, bis der Apparat die vorgeschriebene Flächeneinheit angiebt.

§. 527.

1. Nach der Theorie des §. 523. ist es zwar gleichgültig, an welcher Stelle des Umfangs der zu berechnenden Figur das Umfahren mit dem Führer des Planimeters beginnt und endigt; allein da in der Praxis die Forderung, dafs man am Ende des Umfahrens wieder genau in den Anfangspunkt zurückkehrt, nicht in aller Strenge erfüllt werden kann, so wird theils aus diesem Grunde, theils aus der etwa abweichenden Lage des Berührungspunktes der Rolle mit der Drehscheibe am Anfange und Ende der Bewegung nicht nur ein Fehler $\Delta\,x$ in der Richtung der Abscissenachse, sondern auch ein Fehler $\Delta\,y$ in der Richtung der Ordinatenachse entstehen; die daraus sich ergebenden Flächenfehler sind demnach $(\rho \pm y)\,\Delta\,x$ und $\Delta\,y\,d\,x$, von denen aber wieder der erstere der bedeutendere sein kann und offenbar mit dem Abstande ρ sich verringert. Es ist deshalb bei der Anwendung des Planimeters zweckmäfsig, den Anfangspunkt in dem Umfange der Figur so zu wählen, dafs der Berührungpunkt der Rolle mit der Scheibe in der Nähe des Mittelpunkts der letzteren, oder in einer zur Länge des Instruments parallelen Stelle des Umfangs liegt.

2. Obgleich es auch gleichgültig ist, in welcher Richtung man den Umfang der auszumefsenden Figur umfährt, wodurch also nur das + oder — des Ausdrucks für F der Gleichung [4] sich ergiebt, so ist es doch zweckmäfsig, diejenige Richtung als die positive anzusehen, welche dem Wachsen der Zahlenwerthe des Zifferblatts entspricht. Man kann dann diese Richtung die rechtläufige Umfahrung nennen. Selbstverständlich mufs dann aber jede Figur, deren

Flächeninhalt auf dem anfangs auf Null gestellten Zifferblatte direct abgelesen werden soll, rechtläufig umfahren werden.

3. Wenn man für die Bestimmung des Flächeninhalts einer Figur, deren gröfste Breite kleiner ist, als der Halbmefser der Drehscheibe, den Planimeter so aufstellt, dafs alle Berührungspunkte der Rolle mit der Drehscheibe auf der nämlichen Seite des Scheibenmittelpunkts liegen, so wird nothwendig der Zeiger des Zifferblatts in dem einen Theile des Umfahrens vorwärts, in dem anderen rückwärts gehen, also ein gröfserer Weg von dem Führer durchlaufen als die gemachte Ablesung anzeigt. Diesem Uebelstande kann man durch den Hansen'schen Planimeter aber dadurch leicht abhelfen, dafs man bei seiner Aufstellung den oberen Schlitten um ein angemefsenes Stück herauszieht und den unteren so festhält, dafs die Rolle etwa den Mittelpunkt der Scheibe berührt und dann nach dem Augenmafse die Mitte der Figur unter den Führer bringt.

§. 528.

Nach diesen Bemerkungen dürfte also der Gebrauch des Planimeters bei Flächenbestimmungen im Folgenden bestehen.

Mittelst der Stellschrauben des Fufsgestelles stelle man den auf den Zeichentisch oder eine andere feste Unterlage gesetzten Planimeter so ein, dafs die Schlitten in keiner Lage eine freiwillige Bewegung haben, lege nach den im vorigen Paragraphen gegebenen Regeln die Karte mit der auszumefsenden Figur unter den Führer und bestimme danach auch den Anfangspunkt im Umfange derselben. Darauf hebe man durch Anziehen der Stellschraube n_1 die Rolle von der Drehscheibe ab, bringe durch Umdrehung der Rolle die Indices am Zifferblatte auf Null und den Mittelpunkt des kleinen Kreises des Führers genau auf den Anfangspunkt und lafse die Rolle durch Lösung der Stellschraube n_1 wieder auf die Drehscheibe. Führt man dann langsam, aber mit gleicher Geschwindigkeit und erforderlicher Genauigkeit den Führermittelpunkt rechtläufig auf dem Umfange der Figur entlang bis zum Anfangspunkte zurück und liest an den beiden kleinen Zifferblättern die Tausende und Hunderte und an dem Hauptzifferblatte die unter Hundert vom Zeiger abgeschnittenen Einheiten ab, so erhält man durch diese Zahl die gesuchte Fläche.

Kann man den Führer wegen der durch seine Construction beschränkten Bewegung der Schlitten nicht auf dem ganzen Umfange der gegebenen Figur herumführen, so theile man durch gezogene Diagonalen die Figur in solche Theile, dafs der Umfang jedes einzelnen von dem Führer umfahren werden kann und bestimme dadurch die Gröfse jedes einzelnen Theils.

Es bedarf aber kaum der Bemerkung, dafs der Geometer, wenn es ihm auf möglichste Genauigkeit ankommt, bei einer einmaligen Flächenbestimmung nicht

stehen bleiben, sondern zu wiederholten Malen dieselbe bestimmen und dann aus allen das arithmetische Mittel nehmen wird.

§. 529.

Die auf diese Weise erhaltene Zahl wird aber nur dann den Inhalt der Figur genau ausdrücken, wenn, wie es die Theorie verlangt, der abgewickelte Bogen der Rolle genau die Länge der Berührungscurve hat, welche der Berührungspunkt auf der Scheibe beschreibt. Es mufs daher der Berührungspunkt sich möglichst dem mathematischen Punkte nähern, d. h. die Oberfläche der Drehscheibe eine ganz glatte Ebene sein, und die Abwickelung der Rolle mufs ohne gleitende Bewegung vor sich gehen. Da aber die glatte Metallfläche der Drehscheibe mit Papier überzogen werden mufs, so ergiebt sich leicht, dafs die genannten Bedingungen nicht in voller Schärfe, sondern nur annähernd erfüllt werden können.

Macht man den Papierüberzug möglichst dünn, fest und gleichmäfsig und beobachtet bei dem Umfahren der Figur die Regel, mit möglichst gleicher Geschwindigkeit und gleichem Druck der Finger den Führermittelpunkt auf dem Umfange der Figur herumzuführen, so wird man sich bei einiger Uebung auch der Erfüllung der obigen Bedingungen möglichst nähern. Zugleich erhellet aber aus dem Gesagten, dafs von einer absoluten Bestimmung der Genauigkeit der Planimeterangabe keine Rede sein kann. Will der Geometer für sich und für den angewandten Planimeter die Genauigkeit ermitteln, so mufs man zu wiederholten Malen den Inhalt derselben Figur bestimmen und diefs Verfahren auch auf Figuren von verschiedener Form anwenden. Diese Genauigkeit dürfte aber nicht allein für verschiedene Beobachter, sondern auch für verschiedene Apparate, selbst wenn sie auch aus derselben mechanischen Werkstätte hervorgegangen sind, eine verschiedene sein. Nach den Untersuchungen von Stampfer*) war die Genauigkeit des von ihm benutzten Wetli'schen Planimeters $\frac{1}{3000}$ bis $\frac{1}{1000}$ bei Flächen von 5 bis 7 Quadratzoll, während aus den von Bauernfeind**) mit einem Hansen'schen Planimeter angestellten Untersuchungen die Genauigkeit eine verschiedene nach der verschiedenen Gröfse der Fläche war und derselbe den Satz (S. 37.) aufstellt, dafs die Genauigkeit bei kleinen Flächen etwas geringer, als bei gröfseren sich zeigt. Bei Flächen von mehr als 2 Quadratzoll Inhalt betrug die Genauigkeit $\frac{1}{1000}$, bei Flächen zwischen 2 und 1 Quadratzoll $\frac{1}{700}$ und bei Flächen unter 1 Quadratzoll nur $\frac{1}{500}$.

Indessen bemerkt noch Stampfer, dafs, wenn der Planimeter in seinen Bewegungen gehörig fehlerfei ist, die damit zu erzielende Genauigkeit immer so grofs ist, dafs diese durch die gewöhnlichen Methoden, die Fläche einer gegebenen

*) a. a. O. S. 51.

**) a. a. O. S. 33. u. f.

Figur zu berechnen, gar nicht controlliert werden kann, weil dieselben gröfseren Fehlern unterworfen sind. Ueber die mit dem Hansen'schen Planimeter zu erzielende Zeitersparnifs theilt Bauernfeind a. a. O. eine Reihe von Berechnungen an Figuren mit, bei welchen dieselbe als sehr bedeutend sich herausstellte. Während die einzelnen Parcellen eines Katasterplans z. B. nach gewöhnlicher Art in $4^1/_2$ Stunden berechnet wurden, gab der Planimeter die Fläche in 20 Minuten und während die Berechnung der Gesammtfläche im ersten Falle fast $2^3/_4$ Stunden erforderte, wurde sie mit dem Planimeter in 3 Minuten bestimmt.

Obgleich ich in der im Vorhergehenden dargestellten Theorie und dem Gebrauche des Wetli-Hansen'schen Planimeters hauptsächlich den oben angegebenen Abhandlungen von Stampfer uud Bauernfeind gefolgt bin, so glaube ich doch den Leser auch noch auf dieselben wegen mehrerer darin weiter ausgeführten Untersuchungen verweisen zu müfsen.

§. 478.

5. Der Polar-Planimeter von Amsler.

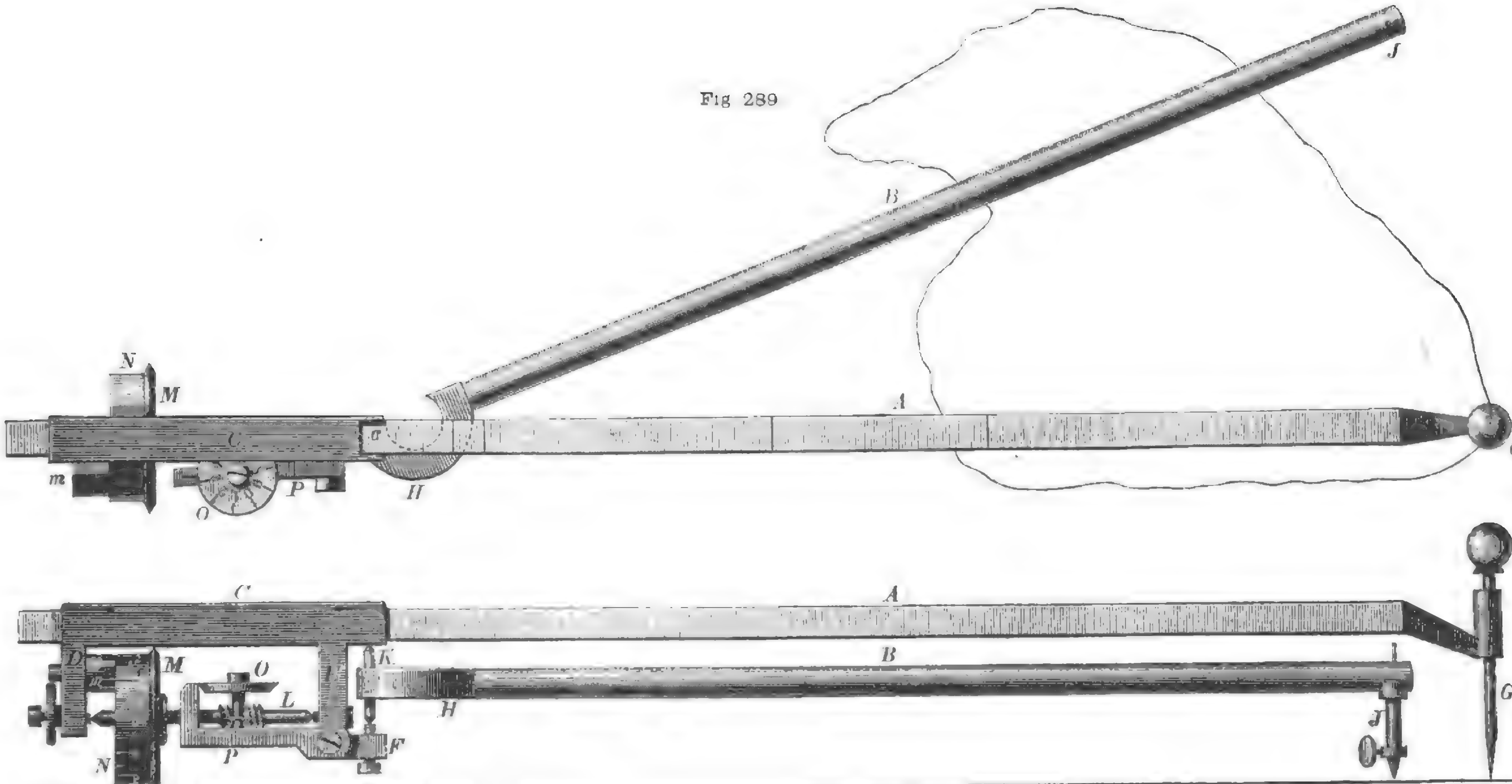
Die Haupttheile des in Fig. 289. im Grund- und Aufrifs in natürlicher Gröfse dargestellten Polar-Planimeters sind der parallelepipedische Stab A, der cylindrische Stab B und die zur Aufnahme des ersteren dienende Hülse C, welche in normaler Lage noch zwei parallelepipedische Fortsätze D und E enthält, von welchen wieder der letztere in einen dagegen normal liegenden Ansatz F ausläuft.

Der Stab A wird in der Hülse durch Reibung festgehalten, zu welchem Zwecke die letztere an ihren Enden geschlitzt ist, so dafs die durch die Einschnitte gebildeten Lappen federnd auf den Stab wirken. Das andere Ende desselben trägt den verticalen Fahrstift G.

Der knieförmige Fortsatz H des cylindrischen Stabes B, dessen anderes Ende den Nadeleinsatz J trägt, nimmt den zwischen der Hülse und dem Ansatze F sich drehenden Stahlcylinder K auf, wodurch beide Arme gegen einander um einen Winkel von $160^0 - 170^0$ sich drehen lafsen. Drückt man die Spitze des Nadeleinsatzes in das Papier, so läfst sich um dieselbe als Pol der ganze Apparat auf der Papierfläche und dadurch der Fahrstift auf dem Umfange der zu berechnenden Figur auf dieselbe Weise herumführen, wie beim Pantographen der Führer auf dem Umfange der zu copierenden Figur herumgeführt wurde.

Zwischen den beiden Fortsätzen D und E liegt die Stahlachse L der Laufrolle M in einer Verticalebene, welche durch die Achse des Cylinders K und die Spitze des Fahrstifts geht, oder ist der Ebene parallel. Der zugeschärfte Rand der Laufrolle liegt mit einem seiner Punkte auf dem Papiere und bildet derselbe daher mit den Spitzen des Nadeleinsatzes und des Fahrstiftes den dritten Stützpunkt des Planimeters auf dem Papiere. Bei der Bewegung des Fahrstiftes werden demnach immer andere und andere Punkte des Umfanges der Laufrolle mit dem

Fig 289



Papiere zur Berührung gebracht, indem jedes Fortrücken derselben aus einem Fortgleiten in der Richtung ihrer Achse und einem Wälzen rechtwinklicht zu jener Richtung sich zusammensetzt.

Um diese Bewegungen meſsen zu können, ist an der Laufrolle die Trommel *N* befestigt, deren äuſsere Mantelfläche hundert gleiche Theile enthält, die durch einen Vernier, der auf der Mantelfläche eines an dem Fortsatze *D* angebrachten Cylindersectors *m* sich findet, noch in Zehntel getheilt werden können. Zur bequemeren Ablesung der ganzen Umdrehungen der Rolle bis zu Zehn enthält ihre Achse eine Schraube, durch welche die 10 gleiche Theile enthaltende Scheibe *O* mittelst der auf der vorliegenden Platte *P* stehenden Achse in drehende Bewegung versetzt werden kann.

Sowohl die Achse *K*, als die Achse *L* drehen sich zwischen Schraubenspitzen und enthält die letztere, zur Erzielung einer sanften und gleichmäſsigen Bewegung noch eine Gegenmutter.

Die Entfernung des Fahrstifts von der Achse *K* bestimmt die Flächeneinheit, in welcher die Maſsangaben des Instruments ausgedrückt sind, weshalb während jeder Meſsung der Stab *A* in seiner Hülse eine unveränderte Stellung behalten muſs. Zur Einstellung des Stabes vor dem jedesmaligen Gebrauch wird auf seiner Oberfläche eine Theilung aufgetragen (§. 533.), zu welcher die in die Verlängerung der Achse des Stahlcylinders *K* fallende Kante *c* der Hülse *C* als Index dient.

§. 531.

Nachdem nun der Stab *A* in seiner Hülse bis zu der zugehörigen Eintheilung verschoben ist, setzt man den Planimeter wie Fig. 289. zeigt, auf das Papier, drückt die Spitze des Nadeleinsatzes ein, bringt die Spitze des Fahrstifts auf einen beliebigen, bezeichneten Punkt des Umfanges der Figur und liest den Stand der Laufrolle ab, indem man zuerst den auf der Scheibe *O* abgeschnittenen Theilstrich, z. B. 4, und die auf der Trommel abgeschnittenen ganzen Theilstriche, z. B. 25 und am Vernier noch ihre Zehntel, z. B. 8, notiert, erhält also die vierziffrige Zahl 4,258. Dann verfolgt man mit der Spitze des Fahrstifts den Umfang der Figur nach der Richtung, wie die Zeiger einer Uhr sich bewegen, bis man auf den Anfangspunkt zurückkommt und notiert dann abermals die vierziffrige Zahl, die aus dem Stande der Laufrolle sich ergiebt. Zieht man dann die erste Ablesung von der zweiten ab, so ist die Differenz der Inhalt der Figur in derjenigen Flächeneinheit, auf welche der Stab *A* eingestellt wurde, sobald die Nadeleinsatzspitze auſserhalb der umfahrenen Figur sich befindet, die hingegen noch um eine constante Zahl *N* zu vermehren ist, wenn die Spitze innerhalb der Figur liegt.

Wegen der bequemeren Handhabung des Planimeters wird man übrigens das erste Verfahren immer dann anwenden, wenn die Ausdehnung der Figur es erlaubt. Es ist auch zweckmäſsig, den Anfangspunkt (und Endpunkt) für den

Fahrstift so zu wählen, dafs der Winkel nahezu $= 90^0$ ist. Bei geraden Umfangslinien kann man sich auch eines kurzen und leichten Lineals zur Führung des Fahrstifts bedienen. Endlich ist auch noch zu bemerken, dafs wenn der Umfang der Figur von dem Fahrstifte von Links nach Rechts umfahren wird, die zweite Ablesung nur dann gröfser als die erste, also die gebildete Differenz positiv ist, wenn die Nadelspitze aufserhalb der Figur liegt. Liegt letztere aber innerhalb, so kann die Differenz auch negativ sein.

§. 532.

Eine Theorie, auf elementarem Wege abgeleitet, enthält sowohl die Broschüre des Erfinders, als auch die im 4. Bande der neuen Folge des Civilingenieurs, Freiberg, 1858. S. 1. sich findende Abhandlung über den Amsler'schen Polar-Planimeter vom Professor J. Weisbach. Indessen dürfte die vom Professor Dr. Wittstein in Hannover zwar auf dem Wege der höhern Analysis, aber dadurch in gröfserer Allgemeinheit abgeleitete Theorie von den erwähnten Darstellungen einen entschiedenen Vorzug verdienen, weshalb ich dieselbe auch hier folgen lafse.

Für ein Polar-Coordinatensystem sei in Fig. 290. J, als Spitze des Nadeleinsatzes des Planimeters, der Pol, G die Spitze des Fahrstifts und JX die Anfangsrichtung des Systems. Es sei

$$JG = \rho$$

und

$$GJX = \varphi,$$

so wird der Inhalt der von dem Fahrstift umschriebenen Fläche F ausgedrückt durch

$$F = \tfrac{1}{2} \int \rho^2 \partial \varphi \qquad [1]$$

worin die Grenzen der Integration durch den Umfang der Figur bestimmt werden. Es ist daher

$$2 \partial F = \rho^2 \partial \varphi. \qquad [2]$$

Statt der Polar-Coordinaten ρ und φ sind daher in diesen Ausdruck die durch den Planimeter gegebenen Constanten und Veränderlichen einzuführen.

Ist K der Drehungspunkt der beiden Stäbe KG und KJ, so setze man die Constanten

$$JK = a,$$
$$KG = b,$$

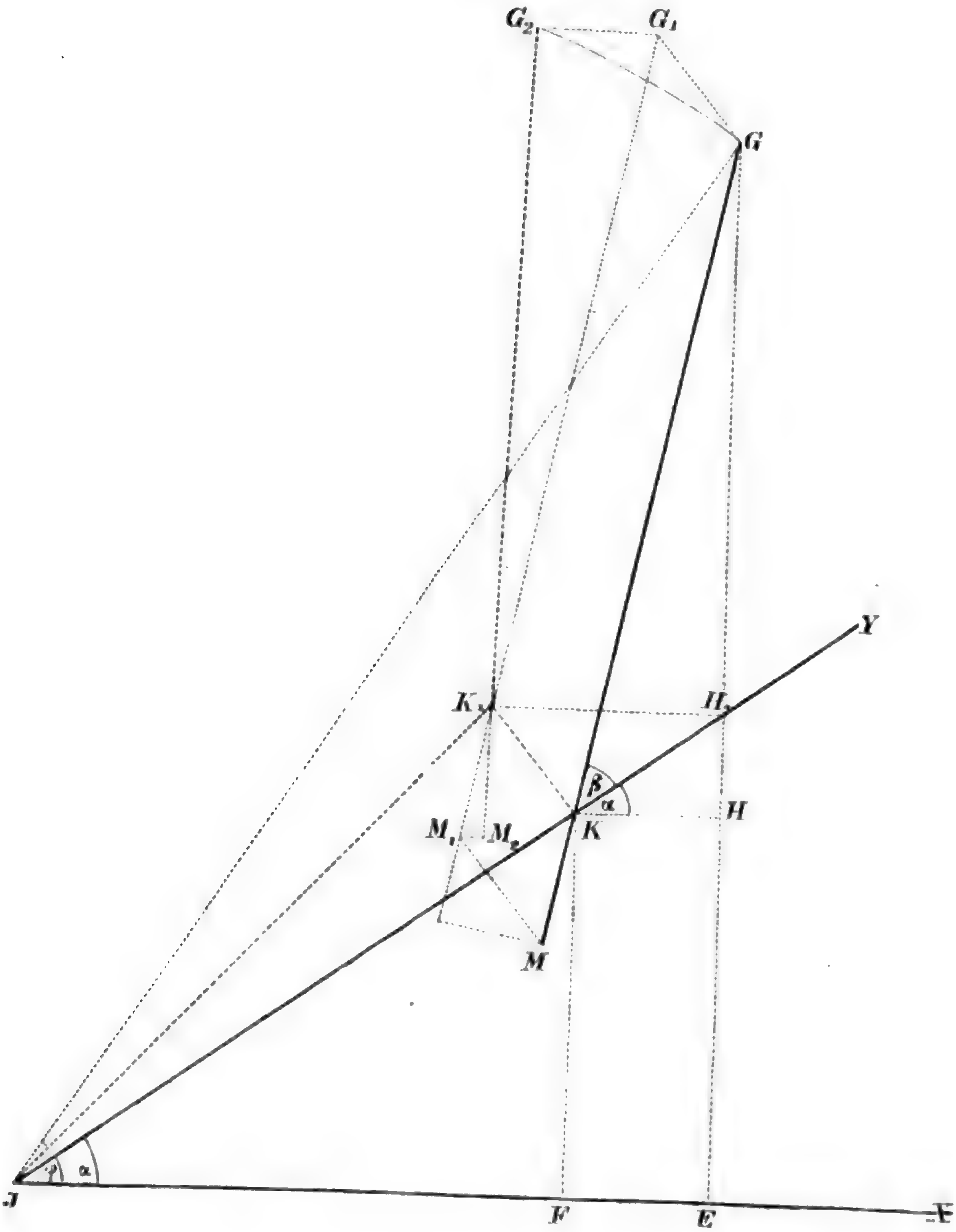
und die Veränderlichen

$$KJX = \alpha,$$
$$GKY = \beta.$$

Fällt man von G und K auf AX die Normalen GE und KF und von K auf GE die Normale KH, so folgen aus den Dreiecken JGE, KJF und GKH die Gleichungen

$$\rho \cos \varphi = a \cos \alpha + b \cos (\alpha + \beta)$$
$$\rho \sin \varphi = a \sin \alpha + b \sin (\alpha + \beta).$$

Fig. 290.



Durch Quadrierung dieser Gleichungen und Addition der Quadrate, so wie durch Division der ersteren erhält man

$$\rho^2 = [a + \cos\alpha + b\cos(\alpha+\beta)]^2 + [a\sin\alpha + b\sin(\alpha+\beta)]^2 \qquad [3]$$

und
$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{a\sin\alpha + b\sin(\alpha+\beta)}{a\cos\alpha + b\cos(\alpha+\beta)},$$

oder
$$\varphi = \operatorname{arc\,tg}\frac{a\sin\alpha + b\sin(\alpha+\beta)}{a\cos\alpha + b\cos(\alpha+\beta)}.$$

Wendet man hierauf den Ausdruck

$$\partial \operatorname{arc\,tg} x = \frac{\partial x}{1+x^2}$$

und die ersten Regeln des Differenzierens an, so erhält man nach einigen Reductionen

$$\partial\varphi = \frac{(a^2 + 2ab\cos\beta + b^2)\,\partial\alpha + (ab\cos\beta + b^2)\,\partial\beta}{[a\cos\alpha + b\cos(\alpha+\beta)]^2 + (a\sin\alpha + b\sin(\alpha+\beta))^2} \qquad [4]$$

und durch Substitution der Gleichungen [3] und [4] in [2]

$$2\,\partial F = (a^2 + 2ab\cos\beta + b^2)\,\partial\alpha + (ab\cos\beta + b^2)\,\partial\beta. \qquad [5]$$

Die Integration dieser Gleichung setzt voraus, dafs man zwischen den Veränderlichen α und β diejenige Curve bestimmt vorschreibt, welche den Umfang der zu mefsenden Fläche bilden soll. Man erhält aber ein vollkommen allgemeines, d. h. jede beliebige Fläche umfafsendes Resultat dadurch, dafs man die Bewegung der Rolle, deren Berührungspunkt mit der Papierfläche der Punkt M sein mag, in die Rechnung einführt.

Legt der Fahrstift G auf dem Umfange der Curve den unendlich kleinen Weg bis G_2 zurück, indem der Planimeter aus der Lage JKG in JK_1G_2 kommt und bildet man das Parallelogramm KK_1GG_1, so kann man sich die Bewegung des Stabes A (Fig. 289.) aus der Lage KG in die K_1G_2 so vorstellen, dafs KG zuerst mit sich parallel nach K_1G_1 und dann durch Drehung um K_1 nach K_1G_2 gelangt. Der ersteren dieser beiden Bewegungen entspricht aber offenbar ein Fortrücken des Berührungspunkts M nach M_1, so dafs MM_1 gleich und parallel dem unendlich kleinen Bogen KK_1 ist; der zweiten Bewegung dagegen ein Fortrücken desselben Punkts um den unendlich kleinen Bogen M_1M_2. Während nun dieser letzte Bogen durch eine rein wälzende Bewegung der Rolle beschrieben wird, also seine Länge unmittelbar den abgewickelten Bogen der Peripherie der Rolle darstellt, wird MM_1 durch eine theils gleitende, theils wälzende Bewegung der Rolle zurückgelegt. Bezeichnet also ML den senkrechten Abstand der beiden Parallelen MG und M_1G_1, so ist der durch die zweite Bewegung abgewickelte Theil der Peripherie der Rolle $= ML$. Ist mithin dieser Bogen, von einem beliebigen Nullpunkte der Peripherie

angerechnet $= v$, so ist der durch die unendlich kleine Bewegung des Fahrstifts von G nach G_2 abgewickelte Bogen der Rolle $= \partial v$ zu setzen und daher

$$\partial v = M L - M_1 M_2. \qquad [6]$$

Da aber $\quad K J X = \alpha,$
so ist $\quad K_1 J K = \partial \alpha,$
folglich $\quad K K_1 = a \partial \alpha,$
und da ferner $\quad M M_1 = K K_1$ und $L M M_1 = \beta,$
also $\quad M L = M M_1 \cos \beta$ ist,
so ist $\quad M L = a \partial \alpha \cos \beta.$

Zieht man ferner von K_1 auf $G E$ die Normale $K_1 H_1$, so ist der unendlich kleine Winkel $G_2 K_1 G_1$, als Differenz der Winkel $G_2 K_1 H_1$ und $G_1 K_1 H_1$ $(= G K H)$, $= \partial (\alpha + \beta)$ zu setzen und daher, wenn $K M = K_1 M_1 = c$ gesetzt wird,

$$M_1 M_2 = c \partial (\alpha + \beta).$$

Durch Substitution der Werthe für $M L$ und $M_1 M_2$ in [6] ergiebt sich daher

$$\partial v = a \partial \alpha \cos \beta - c \partial (\alpha + \beta)$$

oder

$$\partial v = (a \cos \beta - c) \partial \alpha - c \partial \beta \qquad [7]$$

Wird diese Gleichung mit $2 b$ multipliciert und das erhaltene Product von [5] subtrahiert, so erhält man

$$2 \partial F - 2 b \partial v = (a^2 + b^2 + 2 b c) \partial \alpha + (a b \cos \beta + b^2 + 2 b c) \partial \beta,$$

folglich $\partial F = b \partial v + \frac{1}{2} (a^2 + b^2 + 2 b c) \partial \alpha + \frac{1}{2} (a b \cos \beta + b^2 + 2 b c) \partial \beta. \qquad [8]$

Da nun diese Gleichung einer allgemeinen Integration fähig ist, wie auch die Curve, welche den Umfang der gegebenen Figur darstellt, beschaffen sein mag, so erhält man

$$F = b \int \partial v + \tfrac{1}{2} (a^2 + b^2 + 2 b c) \int \partial \alpha + \tfrac{1}{2} a b \int \cos \beta \partial \beta + \tfrac{1}{2} (b^2 + 2 b c) \int \partial \beta, \qquad [9]$$

so dafs es nur noch darauf ankommt, die Grenzen der Integration für die drei Veränderlichen v, α und β festzustellen.

Für die Veränderliche v sind diese Grenzen offenbar die Ablesungen auf der Rolle im Anfange und am Ende der Bewegung des Führers. Sind diese Ablesungen beziehungsweise v_0 und v_1 und setzt man $v_1 - v_0 = V$, so hat man

$$\int \partial v = V.$$

Für die Veränderlichen α und β erhält man die Grenzen der Integration aus der Bedingung, dafs die Lage des Planimeters im Anfange und am Ende der Bewegung genau dieselbe ist. Da nun der Winkel β nur zwischen den Werthen 0^0 und 180^0 sich ändern kann, so sind für denselben die beiden Grenzen gleich grofs, also

$$\int \cos \beta \partial \beta = 0, \quad \int \partial \beta = 0.$$

Für den Winkel α dagegen ist zu unterscheiden, ob der Pol J des Planimeters aufserhalb oder innerhalb der zu mefsenden Fläche genommen ist. Im ersten

Falle sind die beiden Grenzwerthe für α ebenfalls gleich grofs, und es ist

$$\int \partial \alpha = 0;$$

im zweiten Falle aber um eine halbe Umdrehung von einander verschieden und daher

$$\int \partial \alpha = \pm 2 \pi.$$

Die Gleichung [9] liefert demnach das allgemeine Resultat:

1. Ist der Pol J des Planimeters aufserhalb der zu mefsenden Fläche angenommen, so ist

$$F = b\ V, \qquad [10]$$

d. h. die gesuchte Fläche einem Rechtecke gleich, welches die Länge des Stabes KG (A in Fig. 289.) $= b$ zur Grundlinie und den abgewickelten Bogen V der Rolle zur Höhe hat.

2. Ist der Pol aber innerhalb der zu mefsenden Fläche genommen, so ist

$$F = b\ V \pm (a^2 + b^2 - 2\,b\,c)\,\pi, \qquad [11]$$

d. h. zu dem vorigén Rechteck mufs noch mit dem Vorzeichen $+$ oder $-$ eine Kreisfläche addiert werden, deren Halbmefser durch den Radiusvector JG in derjenigen Lage des Instruments dargestellt wird, wo die drei Stützpunkte J, M und G auf dem Papiere ein in M rechtwinklichtes Dreieck bilden.

Beim Gebrauche des Planimeters wird es sich übrigens von selbst ergeben welches der beiden Vorzeichen $\pm$ in [11.] zu nehmen ist, wie überhaupt im Endresultat das Vorzeichen zu vernachläfsigen ist, da die Fläche ihrer Natur nach nur durch eine Zahl ohne Vorzeichen ausgedrückt werden kann.

§. 533.

Damit nun die auf der Rolle gemachte Ablesung unmittelbar den gesuchten Flächeninhalt in der Flächeneinheit der Karte darstellt, kann, wie schon im §. 530. erwähnt ist, der Stab A in Fig. 289. in seiner Hülse verschoben werden und ist daher seine Länge b so zu nehmen, dafs das Rechteck aus dieser Länge b und der Einheit der Ablesung auf der Rolle der Flächeneinheit der Karte gleich ist.

Der oben beschriebene, vom Mechaniker Pfaff in Hannover verfertigte Planimeter hat in Millimetern folgende Dimensionen: $a = 156$, $b = 30{,}7$, während c bis 166 verlängert werden kann; der Durchmefser der Rolle $= 19{,}6$.

Soll nun z. B. der Inhalt der Figur so ausgedrückt werden, dafs nach dem gröfseren der bei dem Hannoverschen Landes-Oeconomie-Collegium angewandten Mafsstabe von $\frac{1}{2133 \cdot 3}$ Verjüngung jede Ablesung von $\frac{1}{1000}$ des Umfanges der Rolle 1 Quadratruthe darstellt,

$$\text{so ist } \tfrac{1}{1000} \text{ des Umfanges der Rolle} = \frac{2\,r\,\pi}{1000} \text{ Millimeter.}$$

Da aber 1 Hannoverscher Fufs $= 0{,}29209$ Meter ist, so ist 1 Quadratruthe

$$= \frac{16\,.\,16\ (292{,}09)^2}{(2133{,}3)^2} \text{ Millimeter,}$$

woraus dann $b = \frac{256 . (292,09)^2}{(2133,3)^2} : \frac{2 r \pi}{1000} = 77,9$ Millimeter

sich ergiebt.

§. 534.

Ueber die Genauigkeit der Planimeterangabe ist vom Professor Dr. Wittstein in Bezug auf den seiner Beschreibung und Theorie zum Grunde liegenden Planimeter nichts Näheres angegeben. Eben so wenig sind auch mit dem im §. 530. beschriebenen Planimeter von dem Verfaſser so umfaſsende Untersuchungen angestellt, daſs der Grad der Genauigkeit sich mit Bestimmtheit angeben läſst. Im Allgemeinen giebt Amsler für den Polar-Planimeter a. a. O. die Genauigkeit zu $\frac{1}{1000}$ an, spricht aber noch die Ueberzeugung aus, daſs damit eine bedeutend gröſsere Genauigkeit erreichbar ist, so wie, daſs im Vergleich mit dem Wetlischen Planimeter, mehrere Fehlerquellen, wohin u. a. die vielen Leitrollen, die horizontale Scheibe, der elastische Drath und jede Art von Biegung durch Druck gehören, gänzlich wegfallen.

Auch in Bezug auf die Zeitersparniſs nimmt Amsler für seinen Polarplanimeter einige Vortheile in Anspruch, indem damit nicht nur gröſsere Figuren ohne vorgängige Zerlegung gemeſsen werden können, sondern auch der nämliche Apparat für verschiedene Landesmaſse und auf verschiedene Maſsstäbe eingestellt werden kann, wobei also die Reductionsrechnungen zu ersparen oder zu vereinfachen sind.

Ueber die Anwendung des Apparats als Flächenreductor und zur Bestimmung des statischen und Trägheitsmoments einer ebenen Figur verweise ich den Leser auf die Amsler'sche Broschüre und in Bezug auf die Theorie des Planimeters auf Bremiker's Theorie des Amsler'schen Polarplanimeters. Berlin, 1862.

Alphabetisches Sachregister.

(Die Zahlen bedeuten die Seitenzahlen.)

Druckfehler und Verbefserungen.

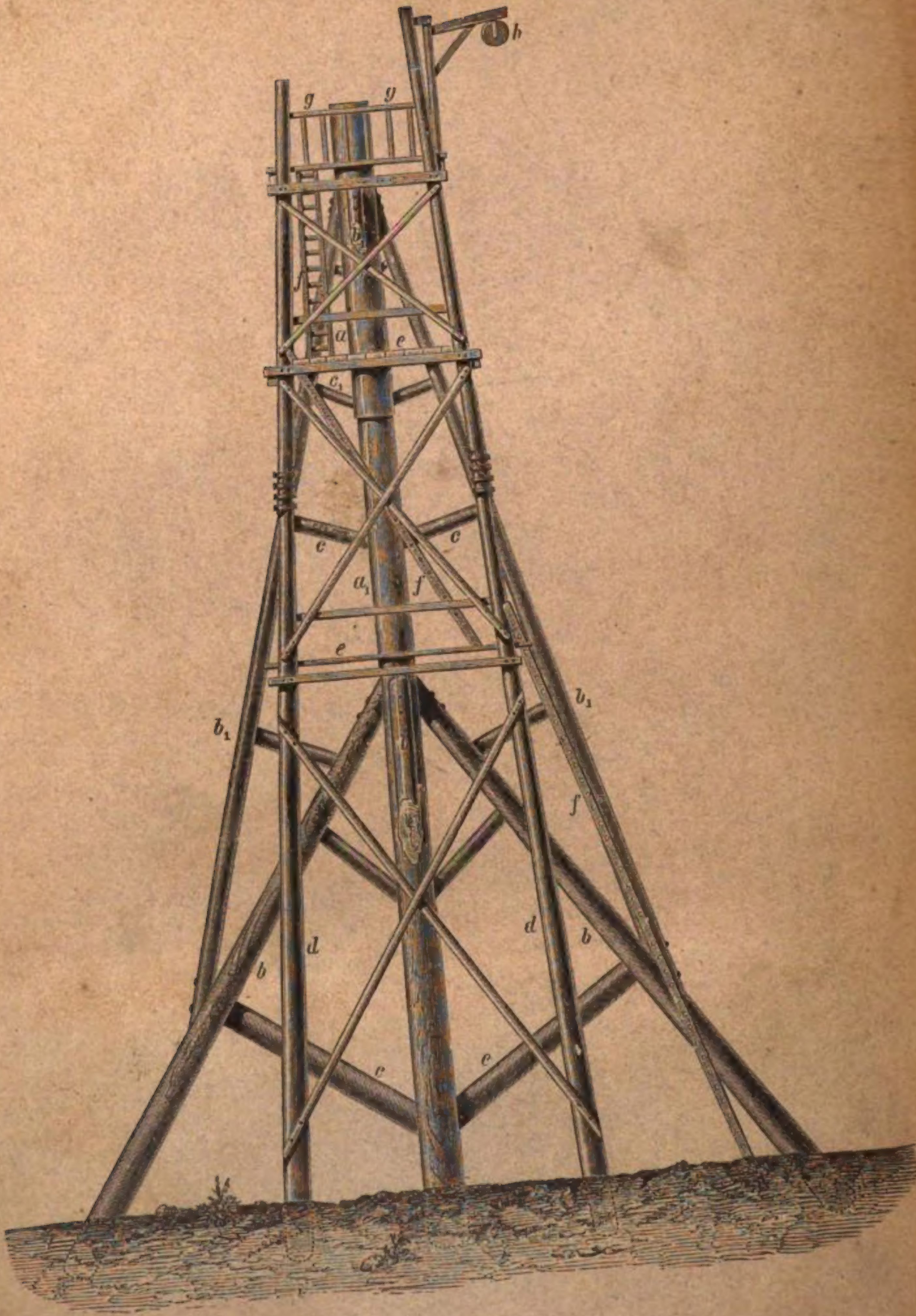
Seite	Zeile	
16.	15.	v. O. lies $H M H_1$ für $H M M_1$.
35.	14.	v. O. lies $\frac{1}{2}(i + i_1)$ für $\frac{1}{2} i + i_1)$.
41.	15.	v. U. lies Ocular für Objectiv.
100.	8.	v. O. lies betrachteten dadurch, für betrachteten,
105.	5.	v. U. lies Figg. 53. und 61. für Figg. 53. und 60.
106.	7.	v. O. lies Fig. 61. für Fig. 60.
112.	1. und 4.	v. U. lies Mutter d_1 für Druckschraube d_1.
113.	1.	v. O. lies Fortsatz A versehenen Arme $a A_1$.
121.	8.	v. O. lies Stifte für Gelenkstifte.
131.	2.	v. O. lies Figg. 78. und 79. für Figg. 77. und 78.
131.	2.	v. O. lies Anziehen für Lösung.

154. ist nach Zeile 16. v. O. noch die Formel

$$\cos h \cos p = \sin \varphi \cos \delta - \cos \varphi \sin \delta \cos t$$

einzuschalten.

Seite	Zeile	
284.	13.	v. U. lies und f. auch.
352.	11.	v. O. lies in die Röhre für in Röhre.
357.	12.	v. U. lies E für T.
362.	6.	v. O. lies Fig. 59. für Fig. 50.
375.	21.	v. O. lies Objectivs für Objects.
383.	8.	v. U. lies §. 222. 1. für §. 223. 1.
386.	9.	v. U. lies Fig. 151. für Fig. 152.
488.	7.	v. U. lies $\alpha = \beta = \varepsilon$ für $\alpha = \beta + \varepsilon$.
603.	1.	v. O. lies Verzeichnung für Vergleichung.



Druck von August Grimpe in Hannover.